



Mestrado em Engenharia Eletrotécnica

Desenvolvimento de Sistemas Autónomos de Montagem e Verificação de Componentes para a Indústria Automóvel – Estágio na Tojaltec

Relatório de Estágio apresentado para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica – Área de Especialização em Automação e
Comunicações em Sistemas Industriais

Autor

Liliana Raquel Reis Couceiro

Orientador

Doutor Frederico Miguel Santos

Professor do Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Supervisor

Engenheira Ana Isabel Carvalho

Tojaltec, Lda.

Coimbra, Abril, 2019

AGRADECIMENTOS

Quero deixar, aqui, expresso o meu reconhecimento:

Ao meu orientador de estágio, Professor Doutor Frederico Miguel Santos, pela disponibilidade, pelos conselhos e por toda a coragem e persistência transmitida ao longo do estágio e da elaboração deste documento.

À minha supervisora na empresa Tojaltec – Fabrico de Máquinas, Lda., Engenheira Ana Isabel Carvalho por toda a disponibilidade e orientação facultada.

A todos os meus colegas pela troca de experiências profissionais, e por toda a ajuda durante a realização do estágio.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer à minha família e amigos por todo o apoio prestado durante esta longa etapa.

A todos, Muito Obrigado

RESUMO

Este relatório pretende descrever o estágio do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica, na área da Automação e Comunicações em Sistemas Industriais, ministrado no Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC), decorrido na empresa Tojaltec – Fabrico de Máquinas, Lda., cujas áreas de atividade são a automação e a robótica industrial.

Durante a realização do estágio foram realizados trabalhos em vários projetos que estavam em curso na empresa. Neste documento encontram-se descritas as principais tecnologias utilizadas nos projetos descritos, assim como explicações das diversas etapas associadas ao desenvolvimento dos projetos em que houve participação:

- Máquina de montagem e da máquina de verificação da conformidade das grelhas difusoras para ventilação dos automóveis – tinham como objetivo o desenvolvimento de duas máquinas, uma com a capacidade de montagem dos vários modelos de grelhas pedidos pelo cliente, e a outra capaz de verificar se as grelhas estavam completas e devidamente funcionais. No caso do primeiro, foi desenvolvido a HMI para a apresentação de informações visuais ao operador, e, no caso do segundo, foram realizadas as afinações dos sensores e testes funcionais da máquina antes de ser expedida para o cliente.
- *Retrofitting* (modernização) de uma máquina de verificação da conformidade de tubos por vácuo – consistiu na substituição e adaptação dos programas para os novos componentes: HMI, PLC e impressora. Este projeto não chegou a ser finalizado, por questões externas à empresa.
- Célula de soldadura com 4 robôs – máquina capaz de executar a soldadura por ultrassons dos diversos componentes que formam as forras das portas dos automóveis. Neste projecto foi realizada a preparação e programação das trajetórias dos robôs.
- Célula de soldadura com 1 robô – célula de soldadura por ultrassons para as molduras dos puxadores das portas dos automóveis. Neste projeto foram realizadas as eletrificações do quadro e as ligações de *Inputs/Outputs*.

Todas as máquinas intervencionadas foram finalizadas durante o decurso do estágio, tendo sido aprovadas e expedidas para os clientes finais, onde se encontram em pleno funcionamento. A única exceção foi a máquina que se pretendia atualizar, pelas razões já apresentadas.

Palavras-chave: Automação; Robótica; HMI; PLC.

ABSTRACT

The goal of this report is to describe the internship of the Master degree in Electrotechnical Engineer, in the area of Automation and Communications in Industrial Systems, taught at the Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC), that was held at Tojaltec - Fabrico de Máquinas, Lda., whose areas of activity are automation and industrial robotics.

During the internship, work was done on several projects that were underway in the company. This document describes the main technologies used in the projects described, as well as explanations of the various steps associated with the development of the projects in which there was participation:

- Mounting machine and machine for checking the conformity of diffuser grills for ventilation in cars – were aimed at the development of two machines, one with the ability to assemble the various models of grids requested by the customer, and the other able to verify if the grids were complete and properly functional. In the case of the first one, an HMI was developed for the presentation of visual information to the operator, and in the case of the second, functional tests were carried out before being sent to the customer;
- Retrofitting of a vacuum tube conformity checking machine - consisted of replacing and adapting the programs for the new components: HMI, PLC and printer. This project was not finalized, due to external issues;
- Welding cell with 4 robots – machine capable of performing the ultrasonic welding of the various components that form the door linings of cars. In this project the preparation and programming of robot trajectories was carried out;
- Welding cell with 1 robot – ultrasonic welding cell for the door handle frame of the car. In this project were carried out the electrifications of the board and the connections of Inputs / Outputs.

All the machines operated were completed during the duration of the internship, having been approved and dispatched to the final customers, where they are in full operation. The only exception was the machine that was intended to be updated, for the reasons already presented.

Keywords: Automation; Robotics; HMI; PLC.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Apresentação da empresa.....	1
1.2	Funcionamento organizacional	1
1.3	Objetivos	3
1.4	Organização do documento	3
2	CONCEITOS E TECNOLOGIAS DE SUPORTE.....	5
2.1	PLC	5
2.2	HMI.....	6
2.3	Robôs industriais.....	7
2.4	Soldadura por ultrassons	8
2.5	Jig ou Gabari.....	10
2.6	Sistemas de segurança	11
2.7	Sumário	13
3	DESENVOLVIMENTO	15
3.1	Quadros elétricos	15
3.2	Máquinas de montagem de grelhas difusoras para ventilação.....	16
3.3	Máquinas de verificação de conformidade das grelhas difusoras para ventilação	22
3.4	Máquina de verificação da conformidade de tubos por vácuo	24
3.5	Célula de soldadura com 4 robôs	31
3.6	Célula de soldadura com 1 robô.....	40
3.7	Sumário	46
4	FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO.....	47
4.1	iX Developer.....	47
4.2	TIA Portal	51
4.3	VSF-T 5	54
4.4	Sumário	58
5	CONCLUSÕES.....	59
5.1	Sugestões de melhoria	60

6	BIBLIOGRAFIA.....	61
	Anexo I – Tabela <i>Input's/Output's</i>	63
	Anexo II – Esquema para seleção do <i>Jig1</i>	65
	Anexo III – Código Robô 1	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Diagrama funcional para um novo projeto [documentação interna].....	2
Figura 1.2 – Fluxograma das atividades da construção de um projeto [documentação interna].	4
Figura 2.1 – Siemens S7-1200.....	5
Figura 2.2 – Estrutura básica de um PLC [2].	6
Figura 2.3 – HMI.	7
Figura 2.4 – Braço robótico Motoman.	8
Figura 2.5 – Robô colaborativo da Universal Robots.	8
Figura 2.6 – Princípio do funcionamento de um sonar ativo.	9
Figura 2.7 – Sonotrodo tubular simples de 8mm de diâmetro.	10
Figura 2.8 – <i>Jig</i>	10
Figura 2.9 – Barreiras óticas.....	11
Figura 2.10 – Sistema bimanual.	12
Figura 2.11 – Dispositivo de segurança para as portas.....	12
Figura 2.12 – Relé de segurança.....	13
Figura 3.1 – Posicionamento dos equipamentos elétricos na platina.	15
Figura 3.2 – Grelhas difusoras para ventilação.	16
Figura 3.3 – Máquina de montagem [documentação interna].	17
Figura 3.4 – Fotografia de calcador para um dos modelos.....	18
Figura 3.5 – Fluxograma do ciclo do funcionamento da máquina de montagem.	19
Figura 3.6 – a) Sensor indutivo sem encapsulamento b) Sensor fotoelétrico c) Fibra ótica com amplificador.....	20
Figura 3.7 – Cilindros pneumáticos com sensores magnéticos [12].	21
Figura 3.8 – Ficha de conexão de alimentação de ar comprimido e comunicações.....	21
Figura 3.9 – Grelhas difusoras para ventilação	22
Figura 3.10 – Máquina para testar grelhas difusoras do lado esquerdo [documentação interna].	23
Figura 3.11 – Fluxograma do ciclo do funcionamento da máquina de verificação de conformidade das grelhas para ventilação.....	25
Figura 3.12 – <i>Jig</i> com tubo colocado.	26
Figura 3.13 – Fotografia da máquina de verificação de conformidade de tubos.....	26

Figura 3.14 – Fotografia das eletroválvulas e ligações elétricas.	27
Figura 3.15 – Fluxograma do ciclo do funcionamento da máquina para testar tubos por vácuo.	28
Figura 3.16 – a) Pressostato b) Conetor macho com 9 pinos c) Conectores pneumáticos.....	29
Figura 3.17 – Ecrã <i>Main</i> da HMI.	30
Figura 3.18 – Ecrã de <i>Jig</i>	30
Figura 3.19 – Estrutura do relatório.	31
Figura 3.20 – Célula de soldadura com 4 robôs [documentação interna].	32
Figura 3.21 – Representação do prato rotativo e da área de trabalho dos robôs.	33
Figura 3.22 – Fotografia do prato rotativo e dos robôs.	33
Figura 3.23 – Sonotrodo retangular simples.....	34
Figura 3.24 – Fluxograma do ciclo do funcionamento da célula com 4 robôs.....	35
Figura 3.25 – Grampo de aperto rápido.....	36
Figura 3.26 – Localização dos dispositivos de emergência [documentação interna].....	37
Figura 3.27 – Trajetória dos robôs 1 e 2, no painel frontal esquerdo [documentação interna].	38
Figura 3.28 – Trajetória dos robôs 3 e 4, no painel frontal esquerdo [documentação interna].	39
Figura 3.29 – Fotografia dos robôs 1 e 2.....	39
Figura 3.30 – Moldura do puxador.....	40
Figura 3.31 – Célula de soldadura com 1 robô [documentação interna].	41
Figura 3.32 – Representação do prato rotativo e das estações da célula de soldadura com 1 robô.	41
Figura 3.33 – Máquina vista da perspetiva do operador.....	42
Figura 3.34 – Posição dos sonotrodos.	42
Figura 3.35 – Fluxograma do ciclo do funcionamento da célula com 1 robô.	44
Figura 3.36 – Localização dos dispositivos de emergência [documentação interna].....	45
Figura 3.37 – Esquema da platina [documentação interna].....	45
Figura 4.1 – Área de trabalho do iX Developer.	47
Figura 4.2 – Configuração do controlador.....	48
Figura 4.3 – Inserção das variáveis (<i>Tags</i>).	48
Figura 4.4 – Inserção das mensagens.	49
Figura 4.5 – Consola para a máquina de montagem das grelhas difusoras para ventilação.....	50
Figura 4.6 – a) Falha na deteção do <i>Housing</i> b) Deteção do <i>Housing</i>	50
Figura 4.7 – a) Falha na montagem da peça b) Montagem da peça com sucesso.	51

Figura 4.8 – Seleção do CPU.	52
Figura 4.9 – Configuração do IP do PLC.	52
Figura 4.10 – Inserção das variáveis (<i>Tags</i>).	53
Figura 4.11 – Área de trabalho.	53
Figura 4.12 – a) Inserção do modelo da HMI b) Inserção do modelo do PLC.	54
Figura 4.13 – Configuração da comunicação com o PLC.	55
Figura 4.14 – Configuração do IP da HMI.	55
Figura 4.15 – Área de trabalho.	56
Figura 4.16 – Menu <i>Messages</i>	56
Figura 4.17 – Ecrãs principais da HMI.	58

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Parte representativa dos códigos binários de identificação dos <i>Jigs</i>	29
Tabela 2 – Tipos de sinalizações que são emitidos pela torre de sinalização	36

ABREVIATURAS

ADC	<i>Analog to Digital Converter</i>
CNC	Comando Numérico Computorizado
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
DAC	<i>Digital to Analog Converter</i>
EN	<i>European Norms</i>
HMI	<i>Human–Machine Interface</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LED	<i>Light-Emitting Diode</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
SI	Sistema Internacional de Unidades
TIA	<i>Totally Integrated Automation</i>
3D	3 Dimensões

1 INTRODUÇÃO

A revolução industrial desencadeou uma evolução no processo de produção industrial, o qual iniciou a transição entre a produção artesanal e a produção assistida por máquinas. A influência causada pelos aumentos de produção, da eficiência e da qualidade dos produtos, e pela diminuição dos custos, continua a potencializar o desenvolvimento industrial.

Atualmente, as empresas têm que estar em constante evolução e adaptação dos seus processos de produção a fim de manter a competitividade no mercado. A automação industrial, que consiste em aplicações de técnicas, aplicações computacionais e/ou equipamentos num processo industrial, com o objetivo de aumentar a eficiência e maximizar a produção, veio auxiliar e melhorar essa competitividade.

1.1 Apresentação da empresa

A Tojaltec – Fabrico de Máquinas, Lda., foi fundada em 2001 e tem como objetivo criar e desenvolver soluções tecnológicas capazes de assegurar a produtividade e a sustentabilidade nas empresas cliente. Desenvolve todo o processo de construção de máquinas, desde a conceção dos projetos 3D, à programação de alto nível adaptada às exigências do cliente, passando pela maquinação de peças e pela realização dos processos de teste e montagem (elétrica, pneumática, hidráulica, mecânica).

Neste sentido, tem desenvolvido a sua atividade nas seguintes áreas:

- Fabrico CNC;
- Consultadoria Industrial;
- Projetos Mecânicos;
- Engenharia Industrial;
- *Retrofitting*.

As instalações da empresa Tojaltec estão sediadas no concelho de Tondela, na Zona Industrial de Vilar de Besteiros.

1.2 Funcionamento organizacional

Apresenta-se na Figura 1.1 o diagrama funcional para um novo projeto na Tojaltec, onde são identificadas as várias etapas de desenvolvimento do projeto até ser entregue ao cliente.

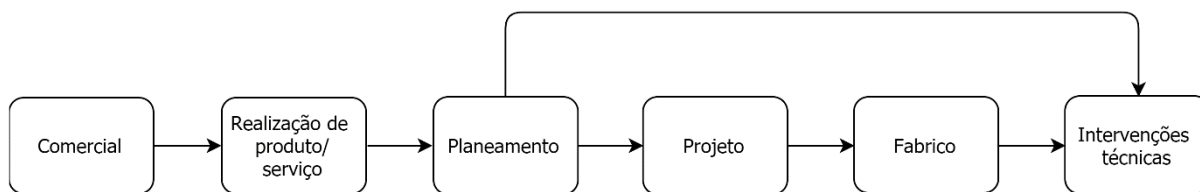


Figura 1.1 – Diagrama funcional para um novo projeto [documentação interna].

No contato inicial, o comercial faz o levantamento das informações sobre o projeto pretendido pelo cliente. À posteriori realiza-se uma análise cuidada das mesmas e averigua-se a sua viabilidade, de onde resulta um caderno de encargos, onde consta o orçamento a apresentar ao cliente. Após o orçamento ser aprovado, será enviada uma ordem de compra para se oficializar o projeto com o cliente, que é rececionada pelo responsável do planeamento, o qual dará seguimento ao início dos trabalhos. Na realização do produto/serviço o responsável comercial dará seguimento ao processo comercial. O produto/serviço é classificado num dos seguintes tipos: projeto, pequeno projeto ou intervenção. Sendo, assim, enquadrado no planeamento geral de trabalho.

Caso seja uma intervenção no cliente, como por exemplo, uma manutenção de uma máquina, é estipulado quem serão os colaboradores intervenientes e o tempo de execução da intervenção. Caso seja classificado como projeto ou pequeno projeto, ao nível do planeamento, são estipulados planos de tarefas e de tempos de trabalho.

A comunicação do início de trabalho para os restantes departamentos é realizada através de uma reunião de apresentação do projeto aos intervenientes diretos no desenvolvimento do mesmo, onde são definidos os tempos de trabalho e analisados os requisitos solicitados pelo cliente.

A realização do produto/serviço é iniciada após o lançamento da folha de projeto. Nesta fase, dá-se seguimento ao processo de projeto (para desenvolvimento de grandes e pequenos projetos) ou processo de intervenções técnicas.

Para garantir o cumprimento do planeamento, são realizadas as seguintes tarefas:

- Avaliação e atualização semanal do planeamento, com os responsáveis de departamento;
- Atualização do planeamento para o cliente;
- Controlo diário do planeamento semanal;
- Reuniões para avaliação da evolução do projeto, em cada departamento;
- Gestão e registo da informação rececionada, relativamente às intervenções técnicas.

Durante o projeto, é realizada uma reunião para discussão de ideias entre os projetistas, de acordo com a informação recolhida e solicitada pelo cliente, avaliando-se a forma mais eficaz de desenvolver o projeto, e, sempre que necessário, são consultados os restantes departamentos. De seguida, é desenvolvido um pré-projeto que depois será apresentado ao cliente com o objetivo da sua validação. Na análise/aprovação do cliente podem surgir sugestões de alteração, que deverão ser registadas na ficha de projeto e implementadas, caso sejam viáveis. A aprovação parcial do pré-projeto poderá originar a fabricação parcial do produto.

No fabrico é dado início às atividades da maquinação, da esquematização eletropneumática, da montagem mecânica e da programação. Quando a esquematização eletropneumática é finalizada prossegue-se para a montagem da mesma. Quando a máquina está finalizada, são realizados vários testes de funcionamento até estar pronta para ser inspecionada pelo cliente e é elaborado o manual de funcionamento. Por fim, é realizada a inspeção por parte do cliente, se não for aprovada retorna à fase de alterações e testes, se for aprovada segue para embalagem e expedição para instalação no cliente. Na Figura 1.2 pode-se ver o fluxograma das atividades da construção de um novo projeto.

Nas intervenções técnicas estão englobadas as melhorias/alterações realizadas durante a instalação, ou, em alguns casos, a realização de manutenção às máquinas.

1.3 Objetivos

O principal objetivo deste estágio é proporcionar contato com o trabalho empresarial, através da participação nos projetos desenvolvidos na Tojaltec, tendo-se assim, a possibilidade de se aplicar e desenvolver os conhecimentos adquiridos durante a formação académica.

Os objetivos propostos pela Tojaltec:

- Compreender o funcionamento organizacional da empresa;
- Auxiliar na montagem elétrica de células de soldadura;
- Programação de trajetórias de 4 robôs numa célula de soldadura;
- Participar no desenvolvimento da HMI para uma máquina de montagem;
- Realizar o *Retrofitting* numa máquina de verificação de conformidade de tubos por vácuo;
- Executar afinações e testes finais antes da expedição de um produto acabado;
- Realizar outras ações de apoio, como por exemplo: escrita e tradução de manuais, documentação de equipamentos e preparação de máquinas para expedição.

1.4 Organização do documento

O presente relatório está dividido em cinco capítulos:

- O atual capítulo é a introdução do relatório, que contém a apresentação da empresa onde foi realizado o estágio e os objetivos;
- No segundo capítulo são abordados os principais conceitos e tecnologias de suporte que fundamentam os trabalhos realizados;
- No terceiro capítulo apresentam-se os projetos nos quais houve colaboração, sendo explicadas as funcionalidades e características destes e o nível de colaboração.
- No quarto capítulo são apresentadas as ferramentas de desenvolvimento utilizadas no desenvolvimento das HMIs e a programação de PLC.
- No quinto capítulo são apresentadas as conclusões relativas ao desenvolvimento dos projetos e algumas sugestões de melhoria.

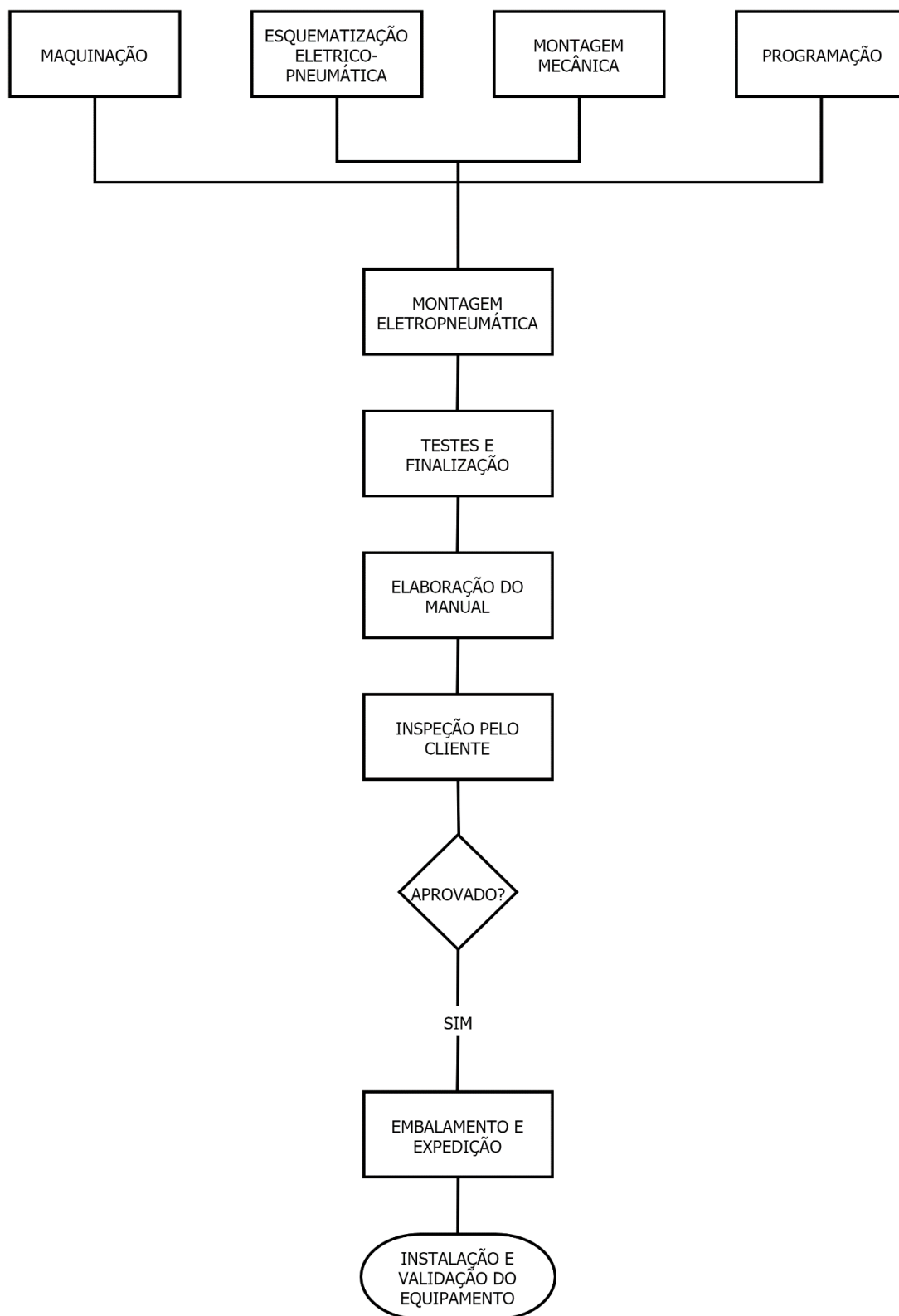


Figura 1.2 – Fluxograma das atividades da construção de um projeto [documentação interna].

2 CONCEITOS E TECNOLOGIAS DE SUPORTE

Neste capítulo são apresentadas as diversas tecnologias usadas durante o período de estágio, tendo em conta as suas características e a sua evolução, na perspectiva da aplicação nos projetos desenvolvidos.

2.1 PLC

Os autômatos programáveis – *Programmable Logic Controller* (PLC), têm como principal função comandar circuitos de automatismos. O primeiro PLC foi criado na General Motors, em 1968, para combater a grande dificuldade em mudar a lógica de controlo dos painéis de comando a cada mudança na linha de montagem, que implicavam grandes gastos de tempo e dinheiro. Nasceu, assim, um equipamento bastante versátil e de fácil utilização, com melhorias constantes e diversificando cada vez mais os setores industriais e as suas aplicações [1].

Os PLCs (na Figura 2.1 é apresentado um exemplo da Siemens), são equipamentos eletrônicos que podem ser programados por um utilizador e funcionam de forma cíclica de acordo com o programa. Hoje em dia existem equipamentos com preços e características variadas, tornando-os a base de automatização de pequenos e grandes sistemas. São concebidos para funcionar em ambientes industriais agressivos, como por exemplo, em locais com alterações acentuadas de temperatura, oscilações de tensão, ruído elétrico, entre outros.



Figura 2.1 – Siemens S7-1200¹.

A Figura 2.2 apresenta a estrutura de um PLC, que é dividido em três partes: as entradas, a Unidade Central de Processamento – *Central Processing Unit* (CPU) e as saídas.

¹ <https://uk.rs-online.com/web/p/plc-cpus/7697392>



Figura 2.2 – Estrutura básica de um PLC [2].

A CPU realiza as instruções do programa, ou seja, executa operações aritméticas, operações lógicas e funções de controlo, fazendo a leitura dos valores lógicos das entradas que estão em memória, executando as instruções que estão no programa e atualizando o valor das saídas.

As entradas e saídas do PLC podem ser do tipo digital e/ou do tipo analógico. Quando são do tipo digital, têm apenas dois estados lógicos, 0 ou 1. Exemplos de periféricos de entrada digitais são: botões, interruptores, detetores, entre outros; as saídas digitais podem ser usadas para ativar contadores, relés, eletroválvulas, etc.

Do tipo analógico, as entradas recorrem a conversores *Analog to Digital Converter* (ADC) internos que traduzem os sinais analógicos (de corrente ou tensão) em sinais digitais, permitindo que estes possam ser utilizados pela CPU; as saídas analógicas realizam o inverso através de um conversor *Digital to Analog Converter* (DAC). Exemplos de entradas analógicas: termopares, pressóstatos, células de carga, etc; exemplos de dispositivos atuadores analógicos: servomotores, válvulas proporcionais e posicionadores.

2.2 HMI

Uma *Human-Machine Interface* (HMI) (ver Figura 2.3), também conhecida como *interface* de utilizador, é uma *interface* apoiada por computador que comunica com o utilizador, permitindo-lhe monitorizar o estado das entradas do sistema e controlar o estado das saídas.

A *interface* de utilizador é definida como sendo "todas as partes de um sistema interativo (de *Software* ou *Hardware*) que fornecem informações e controlo necessários para que o utilizador realize uma determinada tarefa com o sistema interativo". Este é o ponto de ação no qual o ser humano está em contato com a máquina [3].

Figura 2.3 – HMI².

2.3 Robôs industriais

O robô industrial surgiu em 1956 na empresa Unimation. Estes também eram conhecidos como máquinas de transferência programadas, visto a sua principal função ser a transferência de objetos de um ponto para outro [4]. Hoje em dia existe uma grande variedade de robôs que podem ter uma ou mais funções diferentes pré-programadas.

Os sistemas robóticos podem funcionar com temperaturas extremas, elevado nível de ruído, fumos, poeiras e conseguem executar trabalhos repetitivos e monótonos, o que levou à sua adaptação para tarefas de precisão, tais como, soldadura, pintura, injeção, etc.

Atualmente existem várias marcas comerciais que desenvolvem robôs industriais (Figura 2.4), como por exemplo: ABB, KUKA, Fanuc, Universal Robots, Motoman, entre outras. Algumas delas possuem robôs colaborativos (Figura 2.5), que trabalham lado a lado com os operadores.

A principal característica de um robô colaborativo é a capacidade de detetar forças nas suas articulações, o que lhe permite identificar forças atípicas, aplicadas sobre ele, enquanto está a trabalhar. Nessa situação, podem ser programados para parar ou mudar a sua trajetória [5].

² <https://www.indiamart.com/proddetail/monitouch-hmi-touch-panel-19699142588.html>



Figura 2.4 – Braço robótico Motoman³.

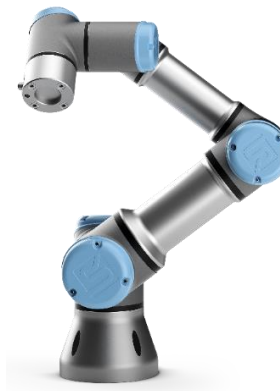


Figura 2.5 – Robô colaborativo da Universal Robots⁴.

2.4 Soldadura por ultrassons

Os ultrassons são ondas sonoras com frequências superiores às audíveis pelo ser humano (este limite varia de pessoa para pessoa, sendo aproximadamente de 20kHz), atingindo-se deste modo frequências que vão desde os 20kHz a alguns GHz [6].

O primeiro registo no qual é referido o uso de ondas sonoras de elevadas frequências data de 1794, quando Lazzaro Spallanzani demonstrou que os morcegos conseguiam orientar-se com precisão no escuro, recorrendo a reflexões do som, inaudíveis ao ser humano [7].

³ <https://www.robots.com/robots/motoman-hp20d-6>

⁴ <https://www.universal-robots.com/pt/produtos/ur10>

Os sistemas de ultrassons são usados nas mais variadas aplicações, podendo ser de emissão, recepção ou ambos (ver Figura 2.6). Atualmente, destacam-se as seguintes aplicações deste tipo de sistemas:

- Medição de distâncias através da reflexão do som - sonar, sensores de estacionamento entre outros;
- Métodos de diagnóstico baseados nas reflexões - na medicina são utilizados na ultrassonografia e na ecografia;
- Sistemas de corte;
- Soldadura;
- Sistemas de limpeza.

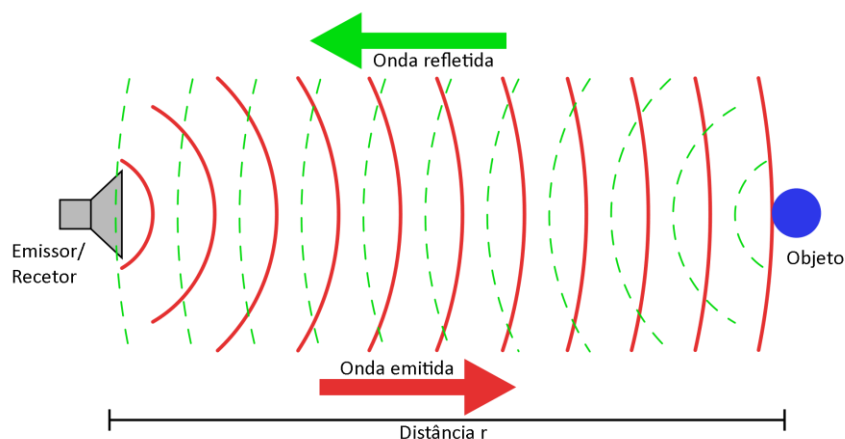


Figura 2.6 – Princípio do funcionamento de um sonar ativo.⁵

Particularizando, a soldadura por ultrassons, permite unir peças em estado sólido por meio de vibrações mecânicas de alta frequência e que originam calor até chegar à temperatura de soldadura [8]. Este processo é realizado por meio de um gerador de energia elétrica de alta frequência que alimenta transdutores piezoelétricos, responsáveis por transformar a energia elétrica em oscilações mecânicas, as quais são transmitidas à peça por meio de um sonotrodo (Figura 2.7), que é uma ferramenta de soldadura por ultrassons que transmite oscilações tangenciais de alta frequência para a peça [9].

⁵ <https://pt.wikipedia.org/wiki/Sonar>



Figura 2.7 – Sonotrodo tubular simples de 8mm de diâmetro.

2.5 Jig ou Gabari

Um *Jig* ou Gabari (Figura 2.8) é uma ferramenta usada para controlar a posição de peças, normalmente produzida em alumínio. A construção de *Jigs* é fundamental, de modo a permitir que o posicionamento da peça seja garantido com o maior rigor possível e sem deformações que possam originar erros no controlo das peças. A vantagem da utilização dos *Jigs* é essencialmente reduzir os tempos e custos no controlo das peças [10].

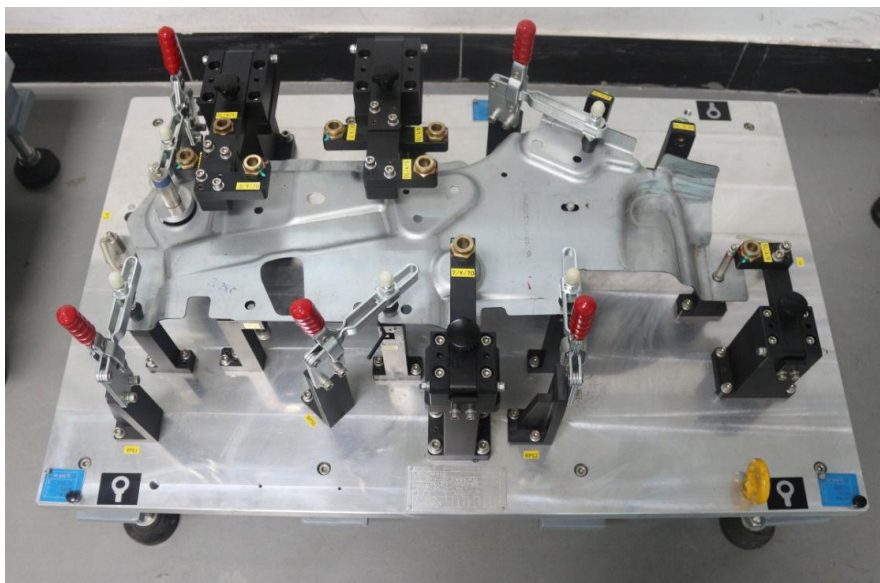


Figura 2.8 – Jig.

2.6 Sistemas de segurança

A Tojaltec rege-se pela norma de segurança EN ISO 13849-1 para o dimensionamento de comandos de segurança orientados à segurança das máquinas, com vista a garantir a segurança e a saúde das pessoas durante a instalação, utilização, regulação e manutenção das máquinas. A EN ISO 13849-1 baseia-se numa preparação probabilística (fazendo uma análise de risco) na avaliação de sistemas de comando orientados à segurança.

2.6.1 Barreiras óticas

Um sistema de barreiras óticas (Figura 2.9) é constituído por duas barreiras, uma emissora e uma recetora de luz infravermelha, as quais, por norma, são monitorizadas por relés de segurança. Da barreira emissora é emitida uma luz que é rececionada pela barreira recetora, formando-se uma barreira de luz entre ambas.

As barreiras emissora e recetora devem permanecer alinhadas e sem obstáculos que impeçam a criação da barreira de luz, caso contrário é detetada a sua interrupção, sendo atuadas as saídas de segurança. Este tipo de equipamento é utilizado por motivos de segurança sendo, muitas vezes, colocado em pontos de acesso às máquinas para criar uma área de segurança entre a máquina e o operador [11].

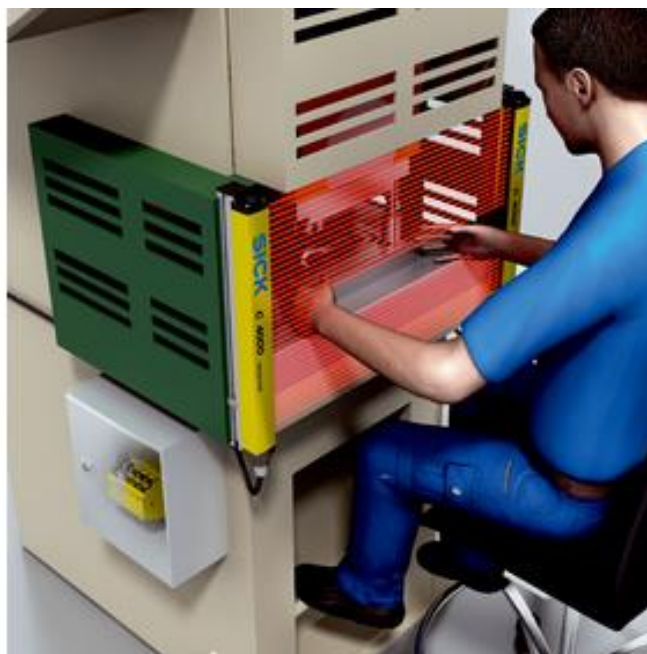


Figura 2.9 – Barreiras óticas⁶.

⁶ <https://www.sick.com/mx/es/sectores/maquinas-herramienta/maquinas-de-conformacion/prensas-mecanicas-e-hidraulicas/prensa-mecanica/proteccion-de-las-zonas-de-peligro-en-una-prensa/c/p346568>

2.6.2 Bimanual

O sistema de botão *Start* bimanual, como se pode observar na Figura 2.10, é constituído por dois botões que fazem o *Start* e que têm que se manter premidos ao mesmo tempo por forma a garantir que o operador tem ambas as mãos fora da zona de ação dos sistemas pneumáticos. É, portanto, um sistema com vista na segurança do operador durante o manuseamento da máquina.

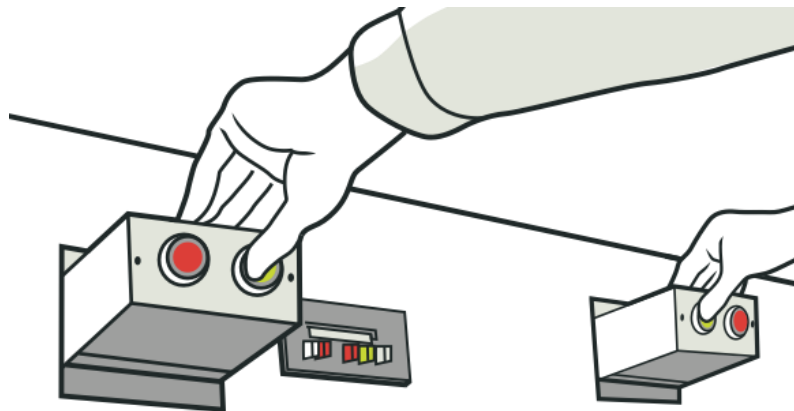


Figura 2.10 – Sistema bimanual⁷.

2.6.3 Fechaduras eletrónicas nas portas

Nas portas de manutenção são utilizados dispositivos de fim de curso, tal como o que é apresentado na Figura 2.11, como garantia de que as portas estarão fechadas quando é iniciado o ciclo de funcionamento da máquina.



Figura 2.11 – Dispositivo de segurança para as portas⁸.

⁷ <https://worksafe.govt.nz/topic-and-industry/manufacturing/safe-use-of-machinery/>

⁸ <https://www.designworldonline.com/compact-6-contact-guard-lock-safety-door-switch>

2.6.4 Relés de segurança

Os relés de segurança (Figura 2.12) são produtos destinados a monitorizar dispositivos de proteção (botões de emergência, sensores e barreiras de segurança). Desta forma, é possível aumentar a categoria de segurança do sistema, ao monitorizar tanto as entradas e quanto as saídas. Neste equipamento o rearme pode ser manual ou automático.



Figura 2.12 – Relé de segurança⁹.

2.7 Sumário

Neste capítulo foram apresentadas as tecnologias e os equipamentos de maior relevo para os projetos abordados durante o período de estágio. Como tal, é a abordagem aos conceitos teóricos e a apresentação das diversas tecnologias presentes no mercado, atendendo aos trabalhos que foram realizados.

⁹ <https://uk.rs-online.com/web/p/safety-relays/4474534/>

3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo apresentam-se os projetos em que foram realizadas tarefas. Em cada um dos subcapítulos encontra-se uma descrição geral referente a cada projeto.

O primeiro subcapítulo é uma descrição de como são, geralmente, distribuídos os equipamentos nos quadros elétricos das máquinas. No segundo subcapítulo é apresentada a máquina de montagem das grelhas difusoras para ventilação. No terceiro subcapítulo é descrita a máquina de verificação de conformidade das grelhas difusoras para ventilação. O quarto subcapítulo corresponde ao *Retrofitting* de uma máquina de verificação de conformidade de tubos através de vácuo. No quinto subcapítulo é descrita uma célula de soldadura com 4 robôs, que realiza a soldadura por ultrassons das forras das portas dos automóveis e por fim, no sexto subcapítulo apresenta-se uma célula de soldadura com 1 robô, que realiza soldadura por ultrassons nas molduras dos puxadores das portas dos automóveis.

3.1 Quadros elétricos

Nos quadros elétricos estão presentes os equipamentos de proteção, distribuição, comando, automação, entre outros, que são necessários para o correto funcionamento da máquina.

Na Figura 3.1 é ilustrado como são, normalmente, distribuídos os equipamentos elétricos na platina.

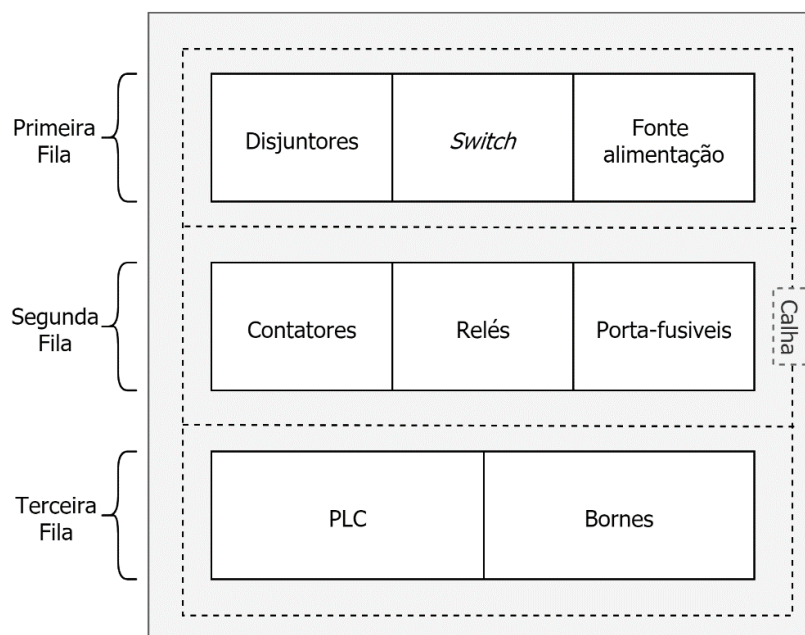


Figura 3.1 – Posicionamento dos equipamentos elétricos na platina.

Na primeira fila são colocados os disjuntores de proteção, normalmente ordenados por disjuntor de corte geral, disjuntor da fonte de alimentação, disjuntor da iluminação e o disjuntor da ventilação. De seguida é colocado o *Switch* para a gestão da comunicação entre o PLC e a HMI, ou outros componentes que comuniquem por *Ethernet*. Por fim é colocada a fonte de alimentação que fornece a tensão de 24V para a alimentação dos circuitos.

Na segunda fila são inseridos os contadores e relés que fazem a subdivisão dos circuitos. Por exemplo, alguns servem para cortar a alimentação às eletroválvulas do ar ou cortar a alimentação da iluminação. Esta fila termina com os bornes porta-fusíveis que permitem proteger os circuitos a 24V, através de um fusível.

Na terceira fila tem-se o PLC com os respetivos módulos de expansão de entradas e saídas, caso sejam necessários, e por último, estão os bornes que têm como finalidade fazer a conexão dos equipamentos elétricos dentro do quadro, mas também interligar condutores e cabos externos para distribuição de sinais e energia. Por norma os bornes são aplicados conforme o desenvolvimento do projeto. Por questões de organização, estes devem ser colocados pela sequência de eletrificação, ou seja, seguir a sequência das tensões ou numeração de sinais de entrada/saída do esquema elétrico.

3.2 Máquinas de montagem de grelhas difusoras para ventilação

Nas máquinas de montagem foram realizados dois projetos, mas será descrito apenas um, devido ao facto de serem semelhantes.

A máquina efetua a montagem das grelhas difusoras para ventilação dos automóveis, que poderão ser encontradas em qualquer veículo. Uma das máquinas faz a montagem das grelhas do lado direito e a outra as do lado esquerdo do veículo.

As grelhas são constituídas por três componentes principais: os *Clips*, as lamelas e o *Housing*. Na Figura 3.2 é apresentado um exemplo de grelhas difusoras para ventilação e identificados os componentes montados por esta máquina.



Figura 3.2 – Grelhas difusoras para ventilação¹⁰.

¹⁰ <https://www.iber-oleff.pt/air-vents>

O projeto das duas máquinas, permite a montagem de quatro referências de grelhas diferentes: A1, A2, B1 e B2. Sendo que a referência A corresponde às grelhas montadas do lado esquerdo do automóvel e a referência B corresponde às grelhas do lado direito. Cada referência difere ainda entre si nas dimensões do *Housing* e das lamelas, por isso a utilização dos índices 1 e 2. Como referido vai ser apenas descrito o projeto para a referência A.

Na Figura 3.3 é possível observar o desenho do projeto e dos seus componentes. Este é constituído pelo posto de trabalho, dois calcadores (terminologia usada na empresa) e dois *Jigs*.

Devido a esta máquina efetuar a montagem de duas grelhas diferentes (A1 e A2), mas com o ciclo de montagem igual, foram desenvolvidos dois calcadores e dois *Jigs*.

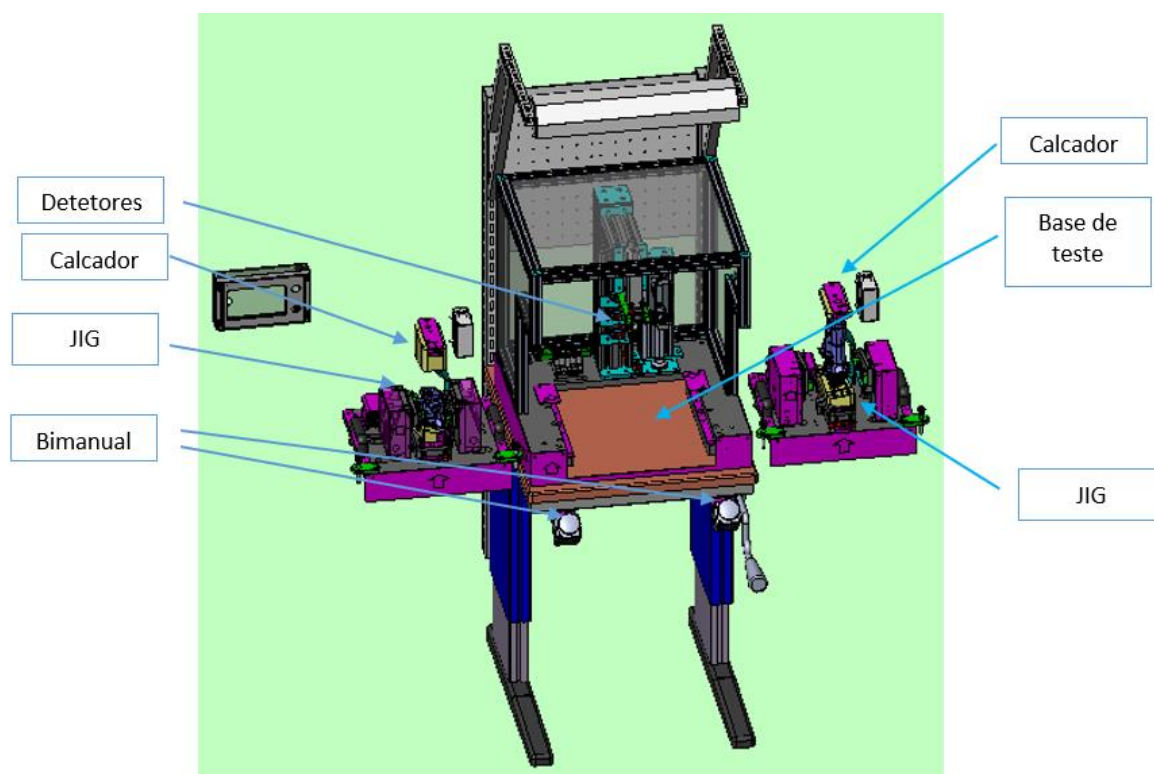


Figura 3.3 – Máquina de montagem [documentação interna].

O calcador (Figura 3.4) é uma ferramenta tipicamente em *nylon* (por ser fácil de maquinar), que permite fazer a adaptação entre o cilindro pneumático e a peça a montar. Assim, numa das suas extremidades possui um encaixe para o cilindro pneumático e na outra um molde da zona a ser pressionada para encaixe dos componentes, neste caso as lamelas e o *Housing*.

O uso desta ferramenta garante que a pressão é uniforme em toda a peça durante a montagem e facilita a adaptação (troca de calcador) para a montagem tanto da referência A1 como A2. Deste modo, e em conjunto com a troca de *Jig*, é possível reutilizar a máquina para fazer montagem de referências semelhantes, mas de dimensões diferentes.

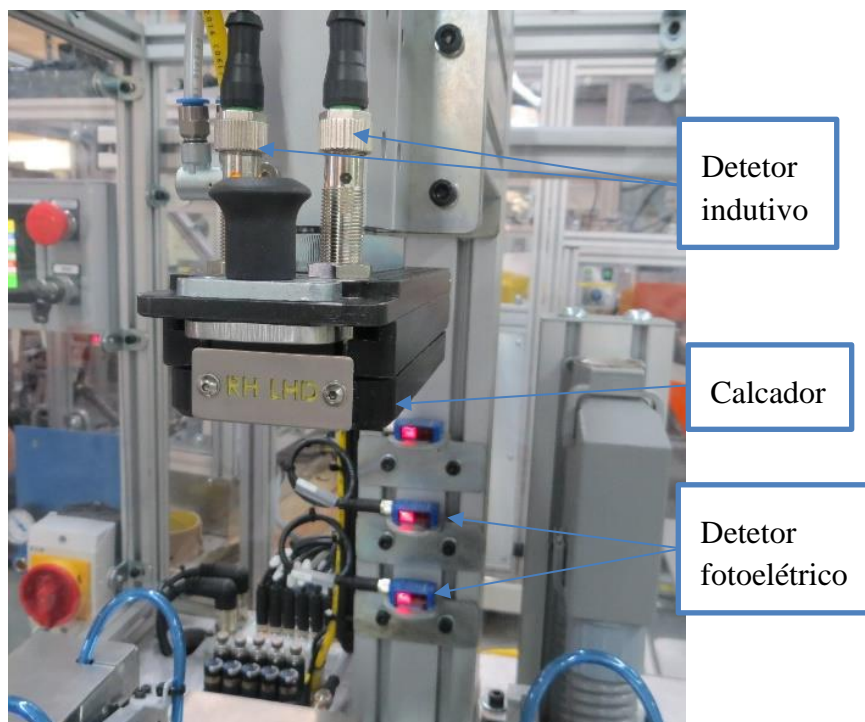


Figura 3.4 – Fotografia de calçador para um dos modelos.

3.2.1 Descrição geral e funcionamento

Na Figura 3.5 apresenta-se o fluxograma do funcionamento da máquina de montagem, durante um ciclo.

Inicialmente são colocados os 3 componentes nos respetivos suportes. O operador pressiona o bimanual, que terá que estar pressionado durante todo o ciclo de montagem, e este é iniciado.

O cilindro pneumático com o calçador avança e encaixa o *Housing* nas lamelas, em seguida os cilindros pneumáticos de transporte dos *Clips* recuam e é efetuada a montagem dos *Clips* através do recuo dos cilindros pneumáticos de introdução. Por fim, os cilindros pneumáticos retornam à posição inicial.

No fim de cada ciclo é apresentada uma mensagem que informa se a peça está conforme ou não. Sendo esta verificação feita através da deteção dos componentes. Caso no fim do ciclo, esteja ativa a deteção de pelo menos um dos componentes, a peça não está montada corretamente.

Para detetar se os componentes estão bem colocados nos suportes são usados sensores indutivos tubulares (Figura 3.6.a) para os *Clips*, sensores fotoelétricos (Figura 3.6.b) no *Housing* e fibra ótica (Figura 3.6.c) no caso das lamelas.

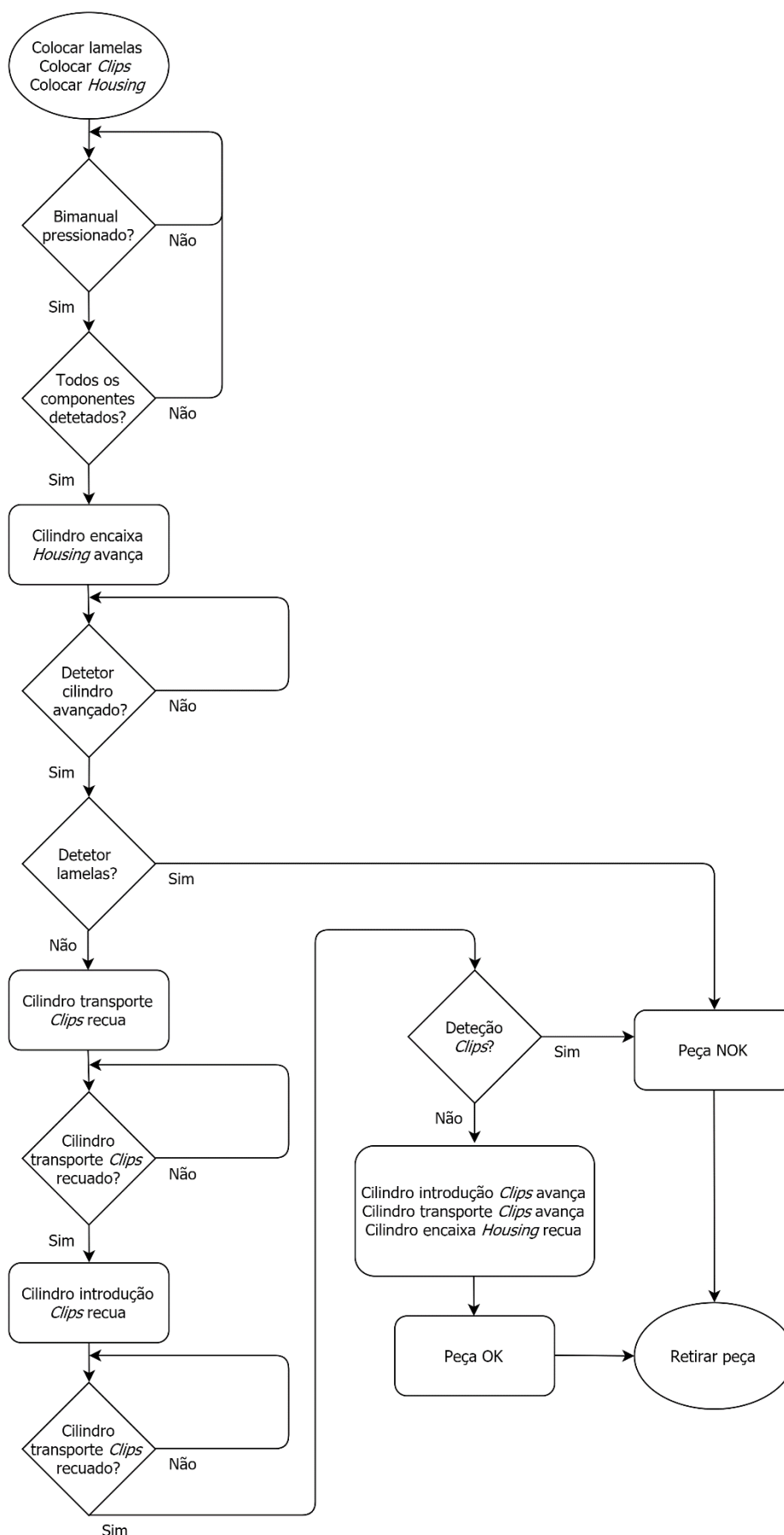


Figura 3.5 – Fluxograma do ciclo do funcionamento da máquina de montagem.

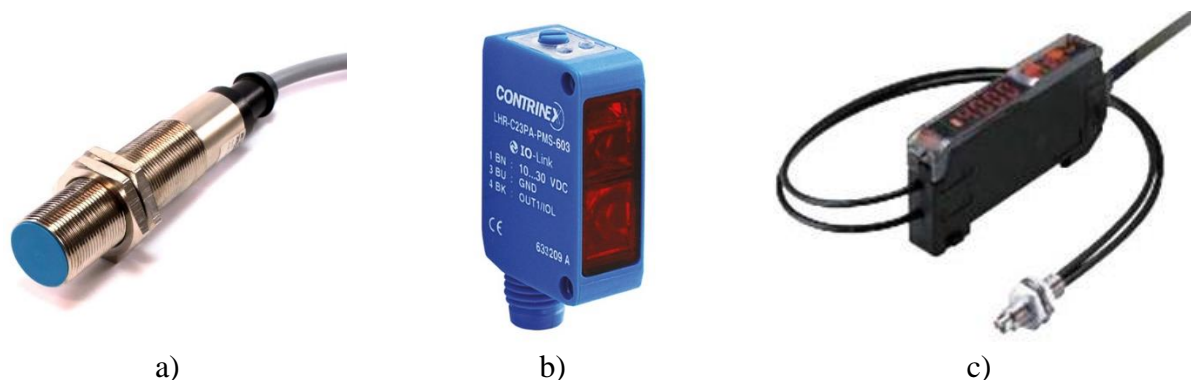


Figura 3.6 – a) Sensor indutivo sem encapsulamento¹¹ b) Sensor fotoelétrico¹² c) Fibra ótica com amplificador¹³.

O sensor indutivo permite medir a proximidade de objetos metálicos. Quando o objeto passa pelo campo magnético produzido pelo sensor, absorve parte desse campo e essa variação é detetada pelo circuito do sensor que produz um sinal de saída binário. Ao colocar uma grelha na máquina e ajustando a distância a que se encontra o sensor do objeto metálico, neste caso um dos *Clips*, testa-se o sinal recebido do sensor e ajusta-se a sua posição de forma a evitar o contato com o objeto sem afetar a sua detecção.

Os sensores de fibra ótica detetam a presença de itens quando a luz emitida é interrompida ou refletida pelo objeto, a mudança nos padrões de luz é medida por um recetor e o objeto ou superfície alvo é reconhecido. A afinação deste equipamento é feita colocando o componente a ser detetado entre o emissor e recetor e lendo o valor máximo e mínimo no amplificador integrado. Um valor intermédio é usado para identificar o componente pretendido, evitando assim a detecção errada de outros.

Por forma a garantir que o *Jig* está corretamente colocado na base de testes, existem três sensores indutivos, dois que detetam se as cavilhas de fixação do *Jig* estão colocadas e um que deteta se o *Jig* está devidamente encaixado na base de testes. Para verificar se o calcador é o correto para a referência que se pretende montar, existem sensores indutivos no encaixe onde é introduzido o calcador, conforme se pode ver na Figura 3.4. Cada calcador tem uma base metálica diferente, que permite identificar qual deles foi introduzido. Através da altura do molde inferior e de um sensor fotoelétrico é feita a verificação se o *Jig* colocado é o correto.

Os cilindros pneumáticos usados têm um íman no êmbolo que permite a detecção de recuo e avanço, esta é feita através de sensores magnéticos, como exemplificado na Figura 3.7.

¹¹ <https://www.eletprecas.com/Produto/sensor-indutivo-tubular-tecnotron-is-5-18g-wa3y>

¹² <https://www.contrinex.com/pt-br/product/lhr-c23pa-pms-603/>

¹³ <https://www.shopcross.com/product/omron-e3xda11n-digital-fiber-amplifier-unit-standard-npn-pre-wired-12-24-vdc>



Figura 3.7 – Cilindros pneumáticos com sensores magnéticos [12].

A alimentação e a comunicação dos componentes do *Jig* são feitas a partir duma ficha (Figura 3.8) que permite a utilização de acessórios pneumáticos ou elétricos. No *Jig* está a ficha macho e na máquina está a ficha fêmea.



Figura 3.8 – Ficha de conexão de alimentação de ar comprimido e comunicações¹⁴.

3.2.2 Funções executadas

Neste projeto, foi utilizada a ferramenta iX Developer para o desenvolvimento integral da HMI de controlo da máquina, (a descrever no Capítulo 4.1), e foram realizadas afinações dos detetores de posicionamento e de presença de peças.

¹⁴ <http://www.directindustry.de/prod/harting/product-4736-1893786.html>

3.3 Máquinas de verificação de conformidade das grelhas difusoras para ventilação

Nas máquinas de verificação de conformidade desenvolveram-se dois projetos. Apenas vai ser descrito um, devido à similaridade entre eles, sendo a sua diferença de um ser para as peças do lado direito e o outro para as peças do lado esquerdo.

Esta máquina destina-se a verificar a conformidade das grelhas difusoras para ventilação dos automóveis, como tal ela deteta se estão presentes os seguintes componentes: quatro *Clips*, um pino metálico (que se encontra na *Wheel*), o conjunto das lamelas e uma esponja.

Na Figura 3.9 estão identificados os componentes que têm que ser detetados.



Figura 3.9 – Grelhas difusoras para ventilação ¹⁵.

Na Figura 3.10 apresenta-se o desenho do projeto e os seus componentes. Esta máquina efetua apenas a verificação da conformidade de uma dada referência de peças. Para se poder verificar outra referência diferente desenvolveu-se uma máquina idêntica a esta.

¹⁵ <https://www.iber-oleff.pt/air-vents>

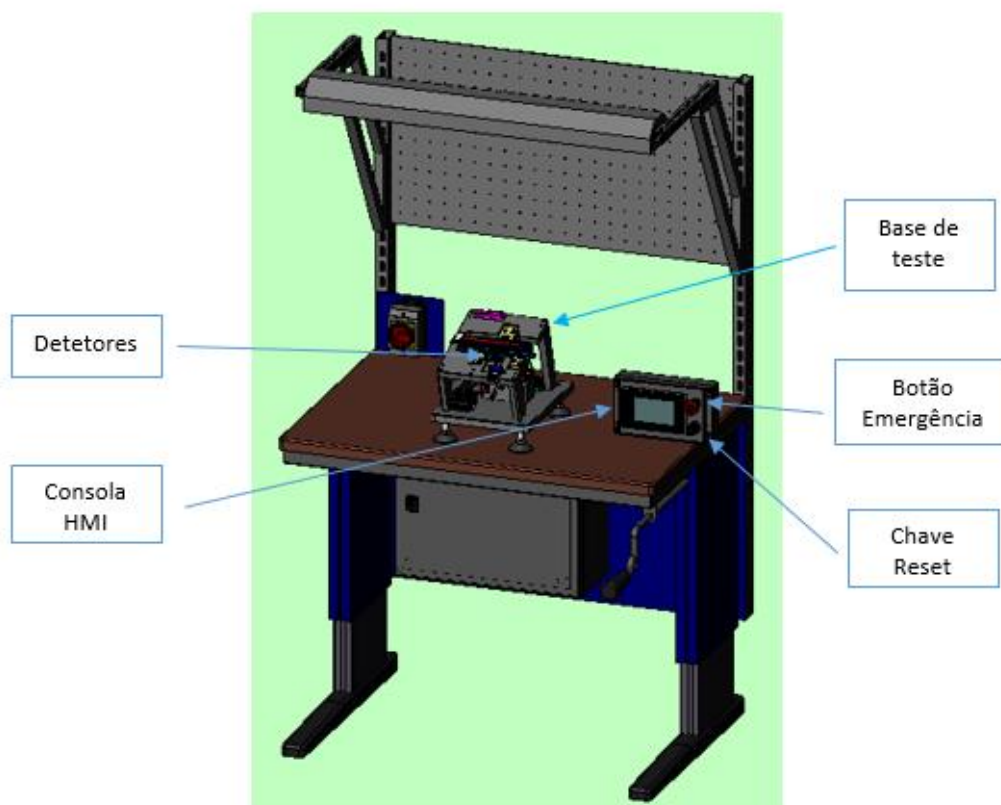


Figura 3.10 – Máquina para testar grelhas difusoras do lado esquerdo [documentação interna].

3.3.1 Descrição geral e funcionamento

O processo de verificação da conformidade inicia-se quando a grelha difusora para ventilação é introduzida na base de teste, esta inclui um *Micro Switch* que ao ser acionado inicia a fase de verificação dos componentes. Esta fase inclui a verificação automática dos quatro *Clips*, recorrendo a sensores indutivos (Figura 3.6.a), do conjunto das lamelas e da esponja, através de sensores de fibra ótica por reflexão (Figura 3.6.c), e do processo de deteção do pino metálico embutido na *Wheel* por um sensor indutivo (Figura 3.6.a).

Este processo consiste no envio de uma mensagem ao operador para efetuar a rotação da *Wheel* num sentido e de seguida rodar no sentido oposto, se o temporizador chegar ao fim sem detetar o pino a grelha é considerada não conforme. O pino não é visível e só é detetado numa posição, daí ser necessária a intervenção de um operador.

Se todos os componentes forem detetados é acionado um cilindro pneumático que marca a peça, o que comprova que a grelha foi testada e está conforme. O cilindro pneumático usado tem recuo por mola e o avanço é detetado por um sensor magnético, exemplo na Figura 3.7.

Na HMI é exibida a mensagem de “Peça OK” se a grelha estiver conforme ou “Peça NOK” se faltar algum componente.

Em caso de falha de um componente é possível realizar uma repetição do ciclo da máquina através do botão “Repetir” ou terminar a leitura dos detetores ao premir “Continuar”, ficando ao critério do operador fazer uma avaliação visual da grelha e validar a conformidade desta.

A estrutura lógica resultante encontra-se no fluxograma presente na Figura 3.11.

3.3.2 Funções executadas

Neste projeto, foram realizadas tarefas de finalização das máquinas antes de seguirem para o cliente. Estas tarefas incluíram a afinação dos sensores e testes exaustivos de funcionamento. Os testes consistiram na verificação da correta apresentação das mensagens na HMI e da mudança de estado dos ícones representativos dos sensores conforme detetam ou não, os componentes da grelha difusora para ventilação.

Esta fase do projeto é essencial, uma vez que é nesta que se fazem os últimos ajustes, parametrização de sensores e procura de falhas no funcionamento da máquina, quer seja por erro do operador e/ou falta de componentes na grelha para ventilação.

Nos testes de funcionamento retiram-se componentes das grelhas (simulação de falhas) e realizam-se vários ciclos de funcionamento, para correta verificação da deteção e informação ao utilizador de erros de funcionamento.

3.4 Máquina de verificação da conformidade de tubos por vácuo

A máquina, desenvolvida em 2005, permite a verificação da conformidade de tubos por vácuo para automóveis (Figura 3.12) e testa através de vácuo se os tubos têm alguma fuga. Estes tubos são utilizados na ligação da bomba de vácuo ao servofreio.

Devido à avaria na impressora de relatórios da máquina o cliente pretende que se faça um *Retrofitting*.

A alteração da impressora introduz um problema de comunicação com o antigo PLC, o que implica a atualização do PLC S7-200 para o S7-1200.

Existe também a mudança de HMI devido a anterior estar danificada e apresentar problemas de funcionamento intermitentes.

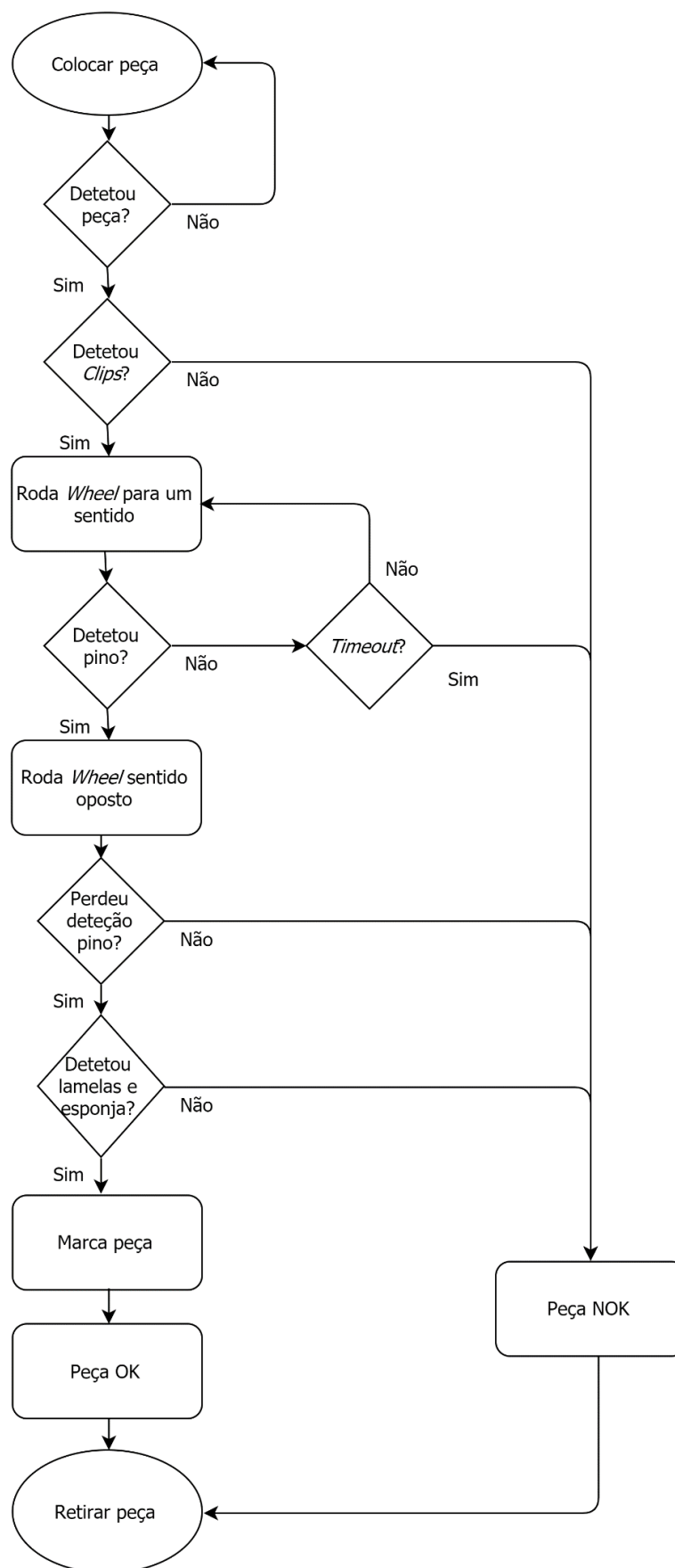


Figura 3.11 – Fluxograma do ciclo do funcionamento da máquina de verificação de conformidade das grelhas para ventilação.

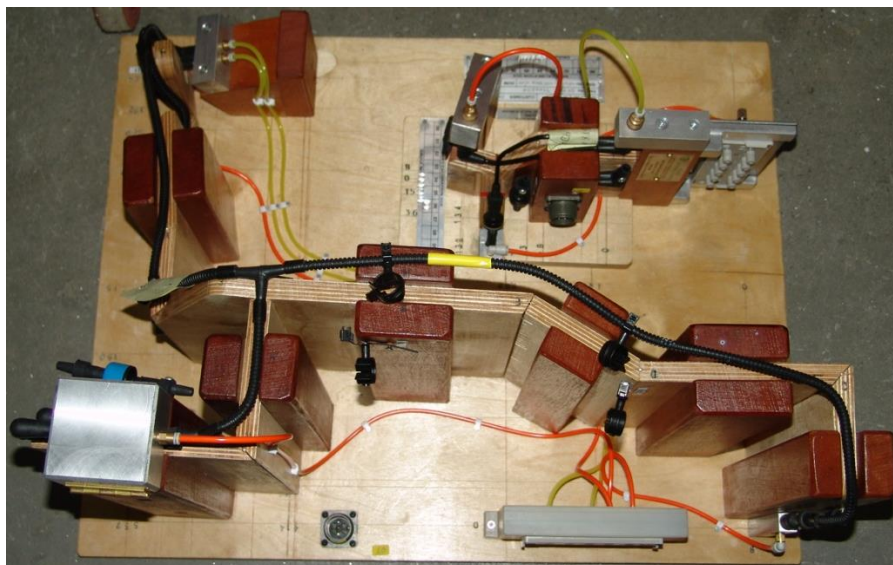


Figura 3.12 – Jig com tubo colocado.

O equipamento é constituído pelo posto de trabalho e por 23 *Jigs*.

Os 23 *Jigs* destinam-se a uma variedade de referências de tubos de várias marcas de automóveis.

Na Figura 3.13 podemos ver a parte frontal da máquina, onde existem dezasseis pressostatos (Figura 3.16.a) que estão a realizar medições de pressão de oito eletroválvulas (Figura 3.14).



Figura 3.13 – Fotografia da máquina de verificação de conformidade de tubos.



Figura 3.14 – Fotografia das eletroválvulas e ligações elétricas.

3.4.1 Descrição geral e funcionamento

O ciclo inicia ao colocar o tubo no *Jig* e após o operador carregar no botão *Start*. As eletroválvulas ficam ativas e a HMI apresenta as leituras dos pressostatos durante o tempo programado no temporizador, no final desse tempo os pressostatos são desativados e é feita verificação das leituras dos pressostatos (Figura 3.16 a). Se os valores estiverem dentro dos parâmetros o tubo está conforme. No fim do ciclo retira-se o tubo do *Jig*.

Na Figura 3.15 está representado um fluxograma do funcionamento geral da máquina.

A máquina tem uma impressora que permite, no final de testar um lote, imprimir um relatório que contém informações da data e hora de início dos testes e a quantidade de tubos conformes e não conformes.

A comunicação entre o equipamento e o *Jig* é realizada através de uma ficha de 9 pinos (Figura 3.16.b) e uma ficha de comunicação (Figura 3.8) com acessórios de pneumática (Figura 3.16.c).

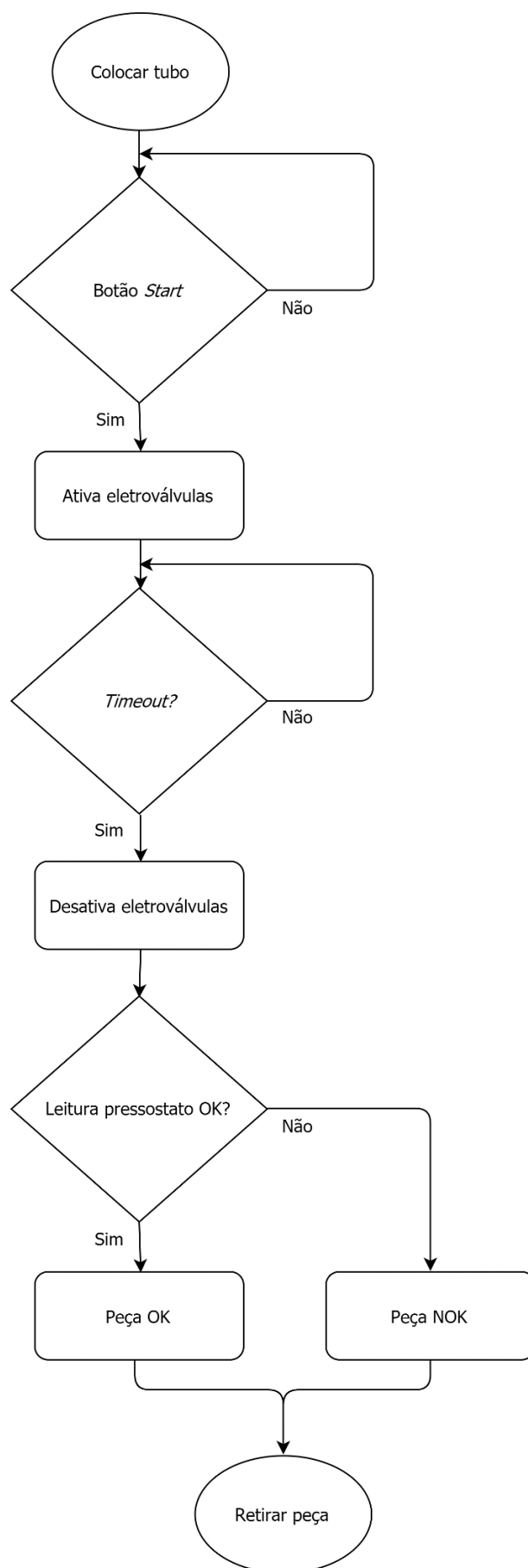


Figura 3.15 – Fluxograma do ciclo do funcionamento da máquina para testar tubos por vácuo.



Figura 3.16 – a) Pressostato¹⁶ b) Conetor macho com 9 pinos¹⁷ c) Conectores pneumáticos¹⁸.

Para identificação de *Jigs* é usada um conetor de 9 pinos (Figura 3.16.b). Cada *Jig* tem um conetor com uma configuração única. Os pinos de B a G servem para a seleção de *Jig*. As diferentes configurações são obtidas através de um sistema de *shunts*, isto é, cada conetor apresenta um conjunto de pinos diferentes com voltagem de 24V. A Tabela 1 mostra uma parte representativa dos códigos binários de identificação dos *Jigs* e no Anexo II é apresentado o esquema de ligação para seleção do *Jig*1.

O conetor fêmea liga ao PLC (as ligações estão enumeradas no Anexo I). O pino A é ligado a 24V e os pinos B a G servem de interligação com as entradas do PLC. É recomendado que o conetor fêmea seja usado do lado em tensão pois diminui o risco de contato humano e aumenta a segurança no manuseamento da máquina.

Tabela 1 – Parte representativa dos códigos binários de identificação dos *Jigs*.

Pino E	Pino D	Pino C	Pino B	Código binário	<i>Jig</i>
-	-	-	24V	0001	1
-	-	24V	-	0010	2
-	-	24V	24V	0011	3
-	24V	-	24V	0101	5
24V	-	24V	-	1010	10

¹⁶ <http://www.directindustry.com/pt/prod/smc/product-82491-1900977.html>

¹⁷ <https://www.electronicaembajadores.com/Datos/fotos/articulos/medianas/ct/ct7a/ct7afmr30b9.jpg>

¹⁸ <https://www.elektroniknet.de/markt-technik/e-mechanik-passive/steckverbinder-fuer-flexible-druckluft-systeme-150381-Seite-2.html>

A correta ligação e reconhecimento do *Jig* permite a identificação automática a mostrar ao utilizador no ecrã principal da HMI (Figura 3.17).



Figura 3.17 – Ecrã *Main* da HMI.

Ao seleccionar a caixa de 'Quantidade lote' aparece um teclado numérico onde se introduz a quantidade de tubos do lote a ser testados, ao clicar no 'OK' é guardado o valor e passa-se para o ecrã de *Jig* (Figura 3.18).

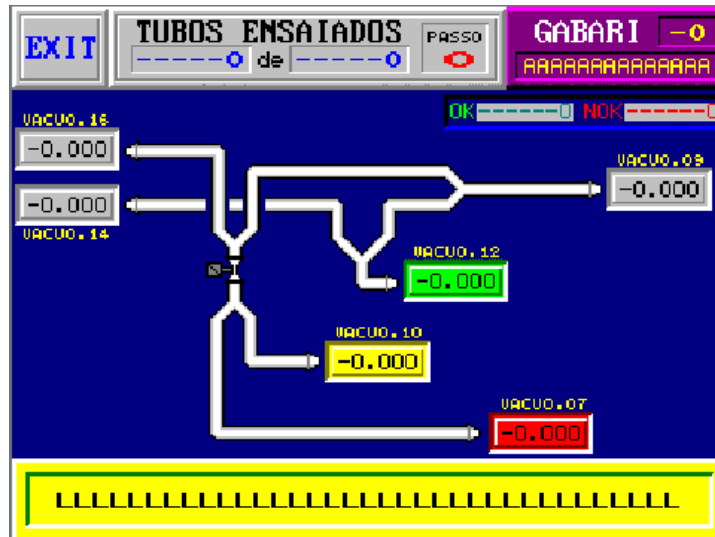


Figura 3.18 – Ecrã de *Jig*.

No ecrã de *Jig* é apresentada uma representação do tubo, dos pressostatos envolvidos e dos valores das leituras. Em caso de a pressão estar fora dos parâmetros definidos a caixa do pressostato correspondente aparece a vermelho, se estiver conforme fica verde e se estiver num valor que é considerado aceitável aparece a amarelo.

No fim do ciclo é apresentada uma mensagem a informar a conformidade do tubo.

Ao terminar a verificação do lote é impresso um relatório com a estrutura apresentada na Figura 3.19.

PÁGINA DA IMPRESSORA

18-06-04 21:36:30

LOTE AAAAAAAAAAAAAA **QUANT.** 0

INICIO DO LOTE 00 00 00 00 00

FIM DO LOTE 00 00 00 00 00

CONTADOR "OK" 0 **CONTADOR "NOK"** 0

Figura 3.19 – Estrutura do relatório.

3.4.2 Funções executadas

Neste projeto fez-se o levantamento de *Inputs/Outputs* do autômato no cliente do qual resultou os dados da tabela no Anexo I, a descrição do funcionamento da máquina e principais componentes desta.

Procedeu-se à adaptação, descrita no Capítulo 4.2, do código do PLC S7-200 para o PLC S7-1200, uma vez que são programados de forma diferente. Efetuou-se ainda a programação da nova HMI, o trabalho desenvolvido encontra-se descrito no Capítulo 4.3.

3.5 Célula de soldadura com 4 robôs

O projeto da célula de soldadura com 4 robôs teve como finalidade o desenvolvimento de uma máquina capaz de executar a soldadura por ultrassons dos diversos componentes que formam as forras das portas dos automóveis.

Este projeto usa dois modelos de forras das portas, um modelo de gama alta com componentes em pele e o um modelo de gama baixa com componentes em plástico.

As forras das portas da frente podem ser dos dois modelos e as forras das portas traseiras são apenas do modelo de gama baixa.

Este projeto é constituído pelo posto de trabalho, um prato rotativo, três bases com seis *Jigs* cada e um carro com mesa elevatória para auxiliar a troca de *Jigs* na máquina. Estes equipamentos estão identificados na Figura 3.20.

O ciclo é constituído por três estações. Uma onde se realiza o abastecimento manual e duas automáticas onde quatro robôs (dois por estação) estão a trabalhar. Na Figura 3.21 está representada a distribuição das estações e dos robôs.

A fotografia da Figura 3.22 mostra o prato rotativo e os robôs visto da perspectiva do operador.

As configurações possíveis (porta da frente do lado esquerdo com forra de gama alta, porta da frente do lado direito com forra de gama baixa, etc) são identificadas com uma referência de forma a simplificar a descrição do funcionamento.

Para cada referência existem 3 *Jigs*, um para cada base do prato rotativo, visto que durante a produção todas as bases têm que estar a trabalhar com a mesma referência de peças. Para prevenir variações de coordenadas que possam surgir a cada *Jig* é associada uma base que não deve ser alterada.

Os *Jigs* estão todos identificados de acordo com a base e a referência correspondente.

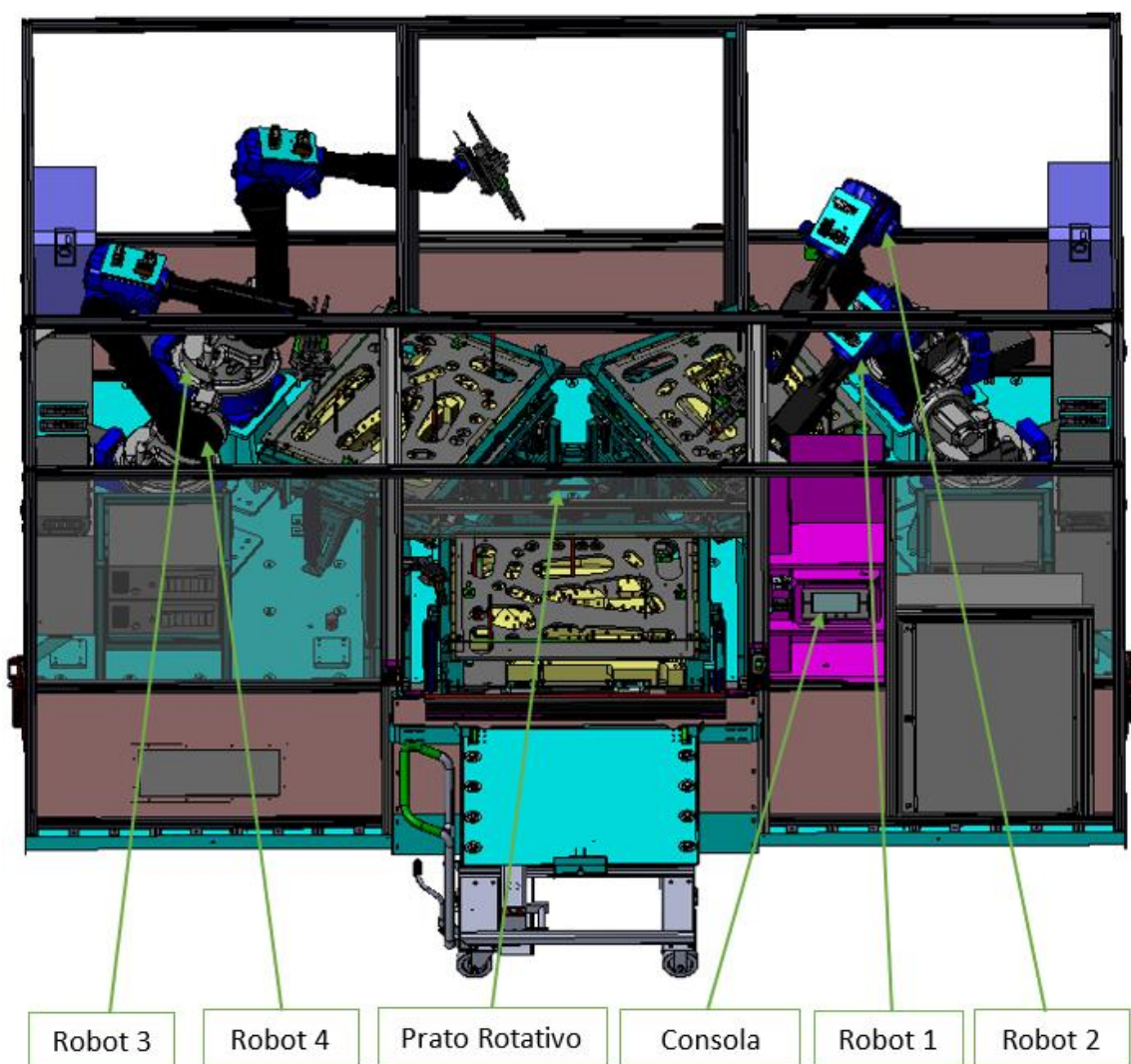


Figura 3.20 – Célula de soldadura com 4 robôs [documentação interna].

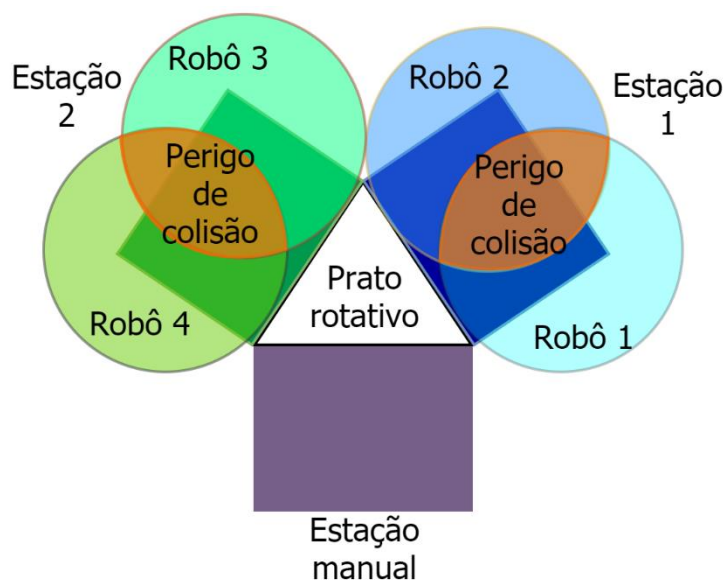


Figura 3.21 – Representação do prato rotativo e da área de trabalho dos robôs.



Figura 3.22 – Fotografia do prato rotativo e dos robôs.

São utilizados três tipos de sonotrodos para realizar a soldadura das forras conforme o ponto a soldar, são estes o sonotrodo retangular simples (Figura 3.23), sonotrodo tubular simples com 8mm de diâmetro e sonotrodo tubular duplo com 8mm de diâmetro distanciados 60mm entre pontos.

Cada robô tem uma ferramenta com dois tipos de sonotrodo de forma a dividir os pontos de soldadura pelos 4 robôs e a otimizar o tempo de ciclo.



Figura 3.23 – Sonotrodo retangular simples.

3.5.1 Descrição geral e funcionamento

O ciclo inicia quando o operador introduz os componentes no *Jig*, e pressiona o botão *Start*. A porta de segurança avança e o PLC verifica se os robôs estão todos na posição *Home* (ponto de repouso do robô fora da área de trabalho) para permitir o prato rodar. Ao rodar a base fica na estação 1 de soldadura, onde os robôs 1 e 2 iniciam as suas trajetórias.

Ao terminar as trajetórias anteriores, o PLC verifica novamente se o botão *Start* foi pressionado, se a porta de segurança está avançada e se os robôs já retornaram à posição *Home*. O prato roda agora para a estação 2 e os robôs 3 e 4 executam as suas trajetórias.

O PLC volta a fazer as verificações no final das trajetórias dos robôs 3 e 4 e inicia a rotação para a estação manual onde a porta de segurança recua, o operador retira a peça terminada e volta a colocar novos componentes.

No fluxograma da Figura 3.24 é representado o ciclo do funcionamento da célula com 4 robôs.

Para assegurar que o *Jig* está colocado corretamente e não se movimenta, cada base tem dois grampos de aperto rápido manuais (Figura 3.25). A detecção de que os grampos estão trancados é feita através de sensores indutivos (Figura 3.6.a).

A comunicação de sinais e a alimentação do ar comprimido entre o *Jig* e a máquina é realizada através de uma ficha de comunicação, em que o conector macho se encontra no *Jig* e conector fêmea se liga na base, exemplo na Figura 3.8.

A máquina tem uma torre de sinalização, esta serve para indicação do estado da máquina. Na Tabela 2 é explicada a sequência de cores.

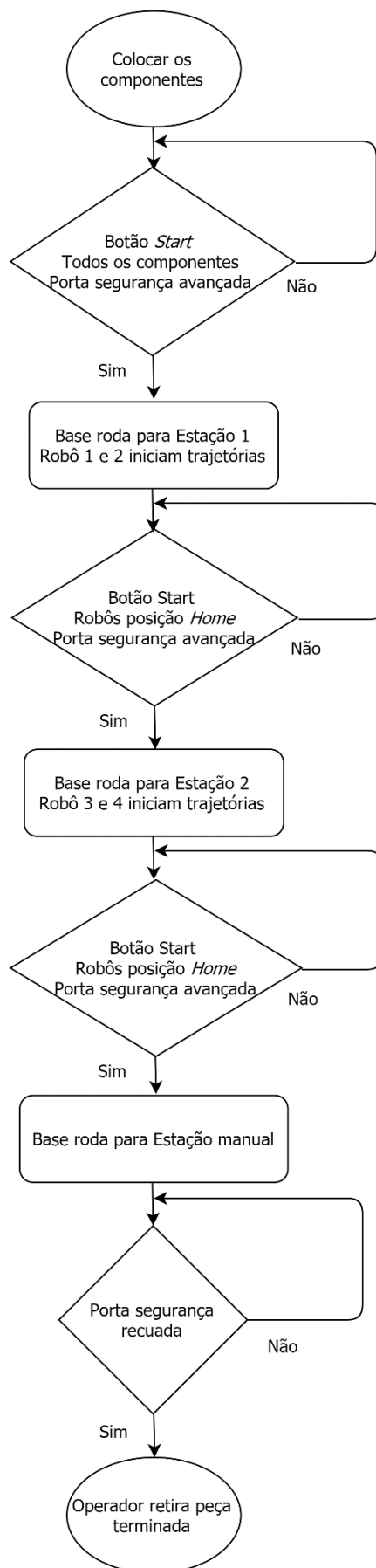





Figura 3.24 – Fluxograma do ciclo do funcionamento da célula com 4 robôs.



Figura 3.25 – Grampo de aperto rápido¹⁹.

Tabela 2 – Tipos de sinalizações que são emitidos pela torre de sinalização

	Luz Vermelha	Indicação que a máquina se encontra em erro, nomeadamente a passagem das barreiras de segurança ou peças NOK, requer intervenção do operador;
	Luz Amarela Intermitente	A máquina está em operação.
	Luz Verde	Indicação de que as peças estão OK;

Na máquina existem dois dispositivos de segurança instalados, botões de emergência e um interruptor de corte geral, localizados de acordo com a Figura 3.26.

Os botões de emergência estão ao lado da porta de segurança automática e ao serem acionados desligam a alimentação de ar comprimido, cortam a alimentação elétrica dos módulos de expansão de saídas do autómato e ativam a função de segurança dos robôs, esta calcula uma trajetória segura para fora da área de trabalho.

O interruptor de corte geral localiza-se na porta do quadro elétrico e corta a alimentação elétrica quando se quer desligar a máquina.

¹⁹ https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-711825294-grampo-vertical-toggle-clamp-grampo-de-fixaco-_JM

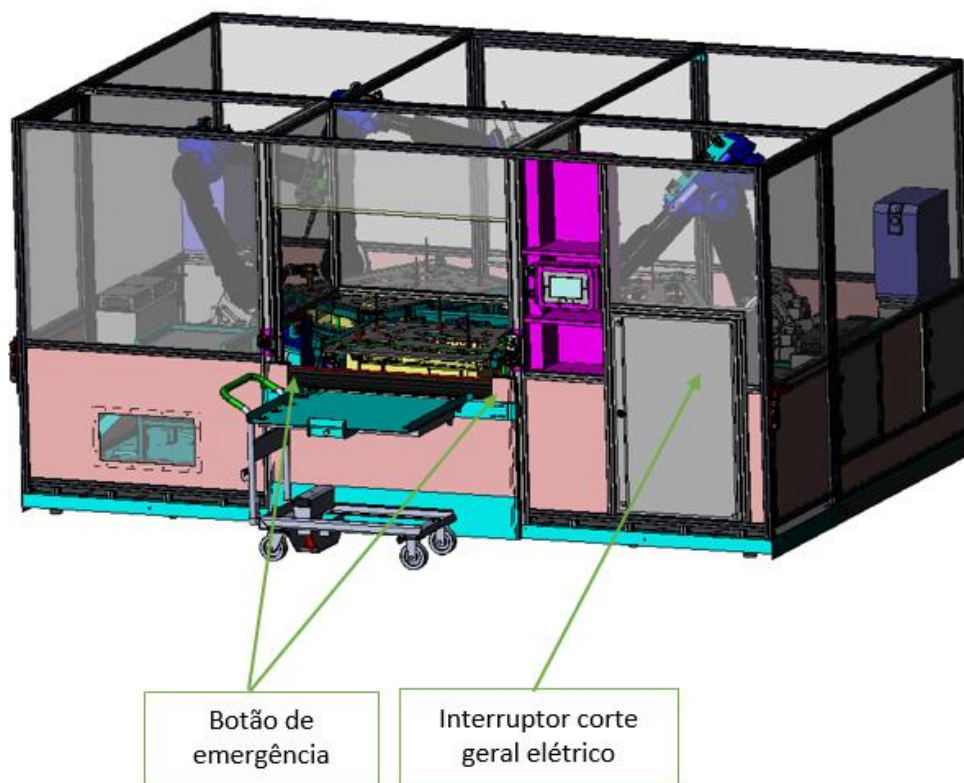


Figura 3.26 – Localização dos dispositivos de emergência [documentação interna].

As trajetórias dos robôs foram definidas para um tempo de ciclo de cada robô, requerido pelo cliente, de 81s, para tal a distribuição das ferramentas pelos 4 robôs é a seguinte;

- No robô 1 ficou a soldadura simples tubular e a dupla tubular;
- No robô 2 ficou a soldadura dupla retangular e a simples retangular;
- No robô 3 ficou a soldadura simples retangular e dupla tubular;
- No robô 4 ficou a soldadura simples tubular e a dupla tubular.

Na Figura 3.27 e na Figura 3.28 estão representadas as trajetórias dos robôs.

Numa interrupção do ciclo automático devido a falhas do sistema, como uma falha na pressão do ar comprimido, falha de eletricidade ou como referido anteriormente, pela ativação de um botão de emergência, os robôs entram numa função que calcula uma trajetória, que garanta que não existe colisão entre os robôs nem com o equipamento, até uma posição de segurança.

V01_LFFR - Frente Esquerdo / Left Front

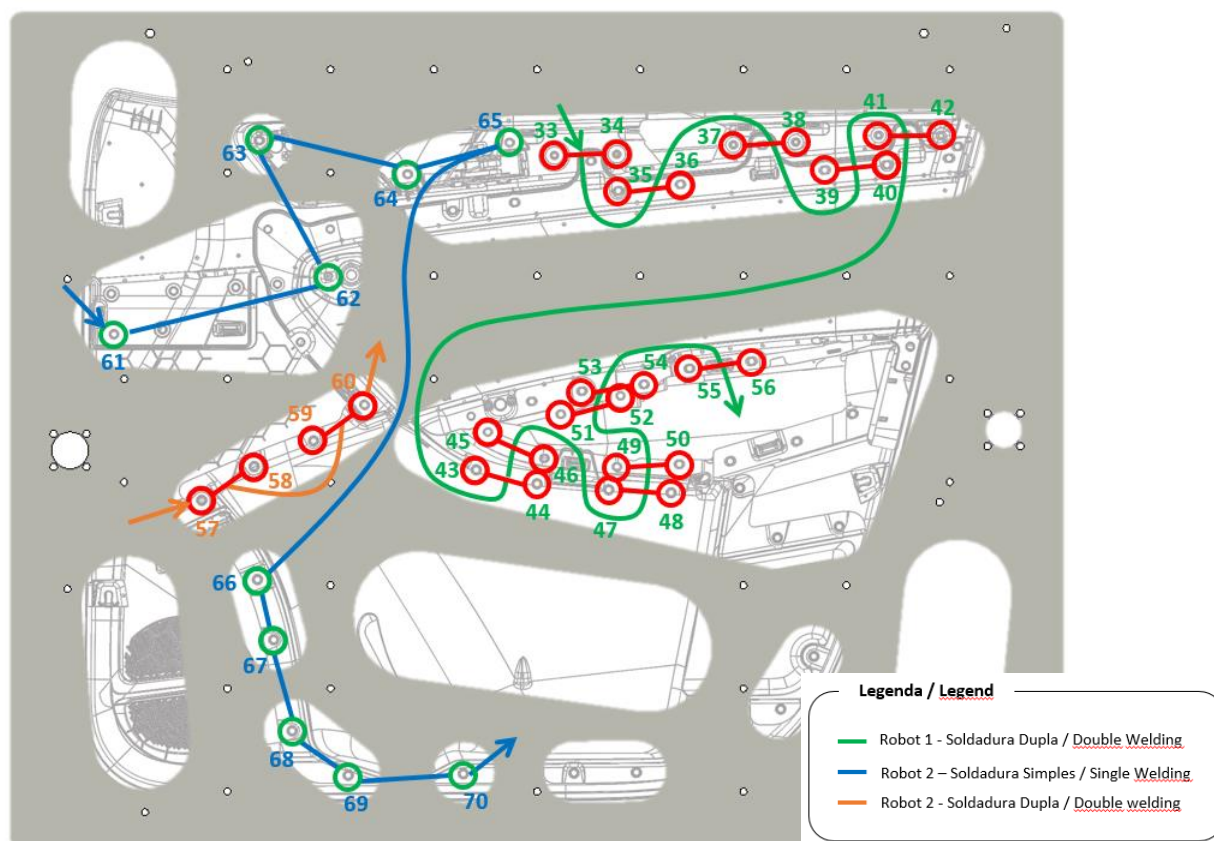


Figura 3.27 – Trajetória dos robôs 1 e 2, no painel frontal esquerdo [documentação interna].

As trajetórias são sempre iniciadas com o robô na posição *Home*.

O robô segue a trajetória para o primeiro ponto de aproximação e desloca-se apenas no eixo Z para o ponto de soldadura, avançando o cilindro pneumático (Figura 3.29) executa a função. Terminado o processo de soldadura o cilindro pneumático recua e o robô retorna para o ponto de aproximação e segue a trajetória para o próximo ponto. Os pontos de aproximação encontram-se todos no mesmo plano segundo o eixo Z.

A detecção de recuo do cilindro pneumático é feito através de um sensor indutivo (Figura 3.6.a) que está incorporado na ferramenta, enquanto que o avanço é detetado por um sensor magnético (Figura 3.7).

Quando é necessário realizar troca de ferramenta, o robô movimenta-se para um ponto fora da área de trabalho onde possa fazer a rotação da junta em segurança.

O código para a trajetória do robô 1 da Figura 3.27 pode ser encontrado no Anexo III.

V01_LFFR - Frente Esquerdo / Left Front

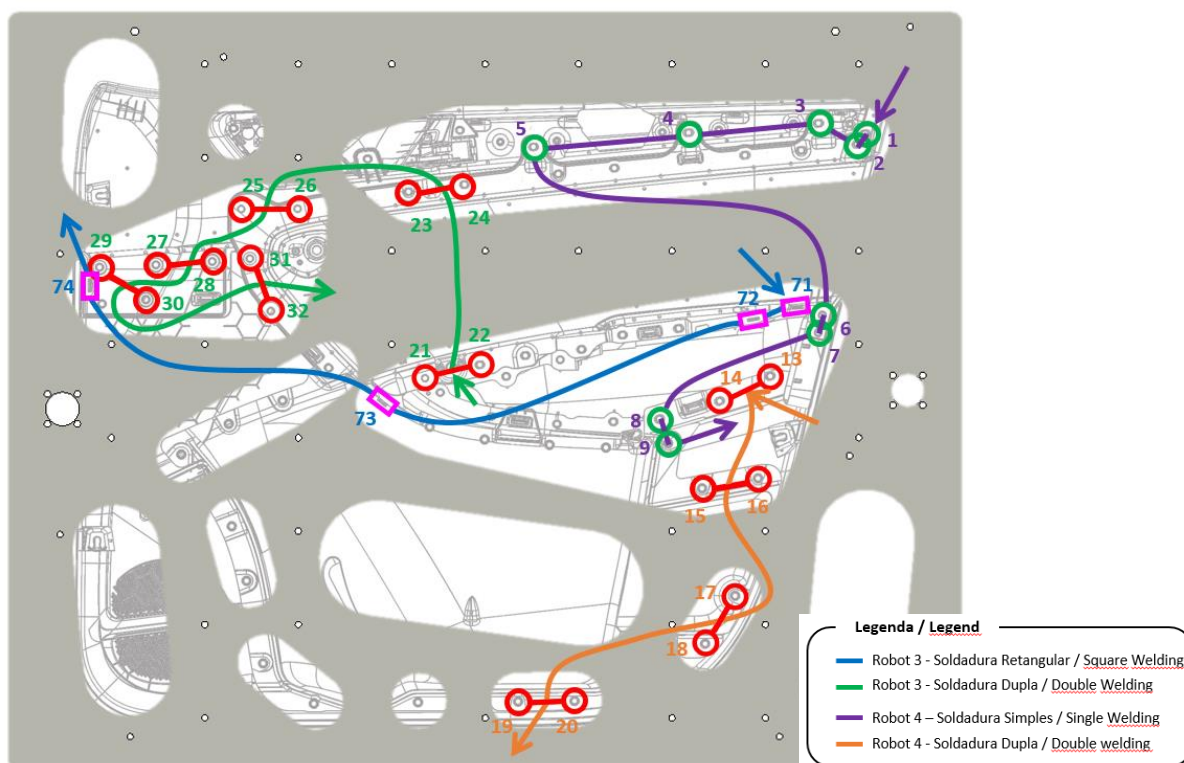


Figura 3.28 – Trajetória dos robôs 3 e 4, no painel frontal esquerdo [documentação interna].



Figura 3.29 – Fotografia dos robôs 1 e 2.

3.5.2 Funções executadas

Neste projeto distribuíram-se os pontos de soldadura pelos 4 robôs e elaboraram-se as trajetórias. Inicialmente, os pontos foram distribuídos pelos 4 robôs como demonstrado na Figura 3.27 e Figura 3.28.

As trajetórias foram preparadas e guardaram-se as coordenadas dos pontos com a colocação dos robôs nas posições pretendidas. Avaliaram-se ainda os pontos de perigo de colisão entre os robôs e criaram-se as zonas de segurança.

3.6 Célula de soldadura com 1 robô

No projeto da célula de soldadura com um robô é pretendido desenvolver uma célula de soldadura por ultrassons para as molduras dos puxadores das portas dos automóveis (Figura 3.30).



Figura 3.30 – Moldura do puxador.

Este projeto é constituído pelo posto de trabalho, um prato rotativo, duas bases com 4 *Jigs* cada e um carro com mesa elevatória para auxiliar a troca de *Jigs*. Estes equipamentos estão identificados na Figura 3.31.

O equipamento é constituído por um prato rotativo composto por duas estações, uma automática e outra manual (Figura 3.32).

O abastecimento dos componentes a soldar é feito manualmente pelo operador enquanto a base se encontra na estação manual.

Uma fotografia da máquina da perspetiva do operador pode ser observada na Figura 3.33 onde estão o prato rotativo e o robô.

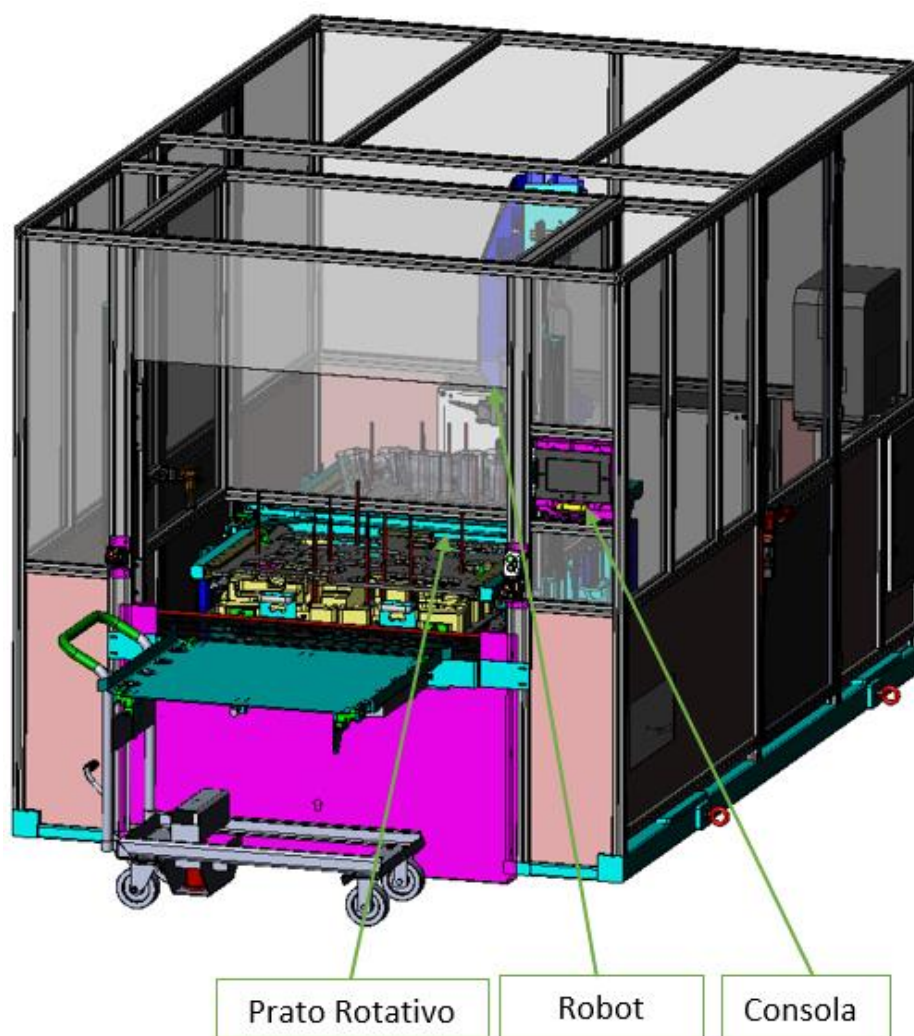


Figura 3.31 – Célula de soldadura com 1 robô [documentação interna].

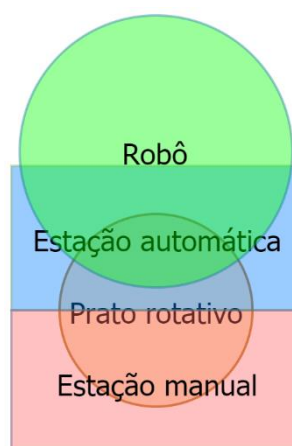


Figura 3.32 – Representação do prato rotativo e das estações da célula de soldadura com 1 robô.



Figura 3.33 – Máquina vista da perspectiva do operador.

A ferramenta do robô é composta por uma estrela com 3 tipos de sonotrodos:

- Frisos retangulares simples;
- Frisos tubulares simples com diâmetro de 6mm;
- Frisos tubulares simples com diâmetro de 8mm.

Na Figura 3.34 temos uma fotografia da disposição dos sonotrodos na ferramenta.

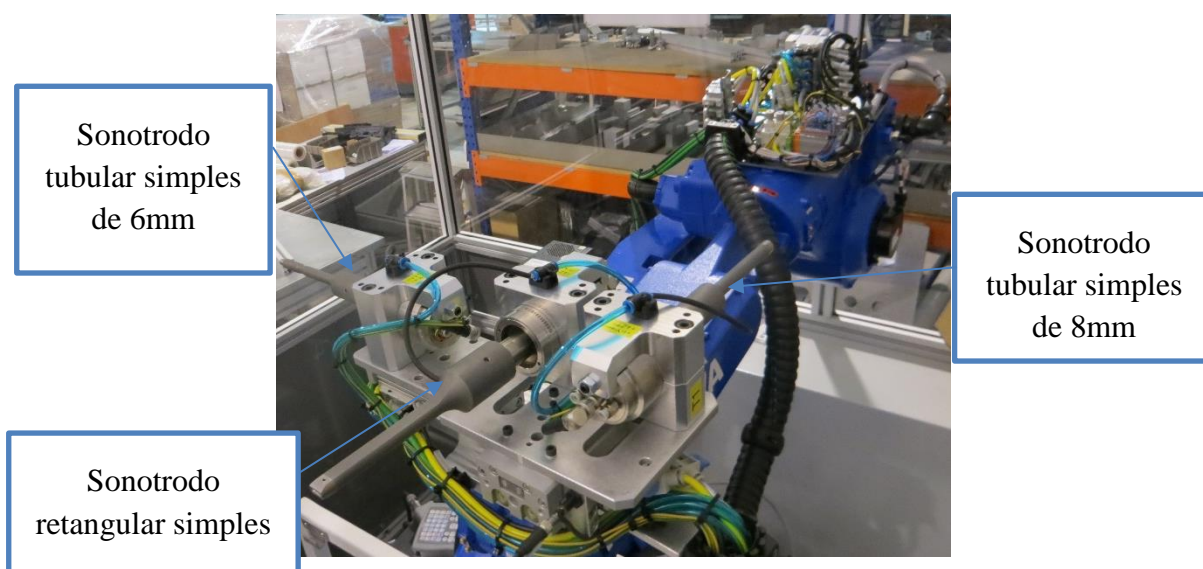


Figura 3.34 – Posição dos sonotrodos.

3.6.1 Descrição geral e funcionamento

O processo de montagem inicia quando o operador coloca todos os componentes na base, estes componentes são detetados por sensores fotoelétricos (Figura 3.6.b) posicionados no *Jig*.

Pressionando o botão *Start* inicia-se o ciclo automático. A porta de segurança avança, o prato roda a base para a estação automática e o robô inicia as trajetórias. Ao terminar de soldar todos os pontos o robô regressa à posição *Home*.

O resultado final é retirado pelo operador da base da estação manual depois do prato ter rodado e a porta de segurança ter recuado.

Neste equipamento a comunicação entre o *Jig* e a máquina é realizada através de uma ficha (Figura 3.8).

O *Jig* é trancado na base através de um grampo de aperto rápido (Figura 3.25).

Na Figura 3.35 está representado o fluxograma de funcionamento de um ciclo da máquina.

Na máquina existem dois dispositivos de segurança instalados, botões de emergência e um interruptor de corte geral, localizados de acordo com a Figura 3.36.

Os botões de emergência estão ao lado da porta de segurança automática e ao serem acionados desligam a alimentação de ar comprimido, cortam a alimentação elétrica dos módulos de expansão de saídas do autómato e ativam a função de segurança do robô, esta calcula uma trajetória segura para fora da área de trabalho.

O interruptor de corte geral localiza-se na porta do quadro elétrico e corta a alimentação elétrica quando se quer desligar a máquina.

3.6.2 Funções executadas

Neste projeto realizou-se a preparação da platina conforme o esquema representado na Figura 3.37, as tarefas englobaram o corte e fixação das calhas na platina.

Realizou-se a eletrificação do quadro elétrico e posterior fixação na máquina e restantes ligações de sinais de *Inputs/Outputs* que ligam no PLC.

Na área 1 estão localizados os disjuntores de proteção do quadro elétrico. Os contadores que fazem parte do circuito de comando situam-se na área 2. Nesta platina o PLC foi colocado na área identificada com o número 3. A posição das cartas de expansão de entradas e saídas do PLC está marcada com o 4. Na zona 5 estão colocados os bornes e a fonte de alimentação.

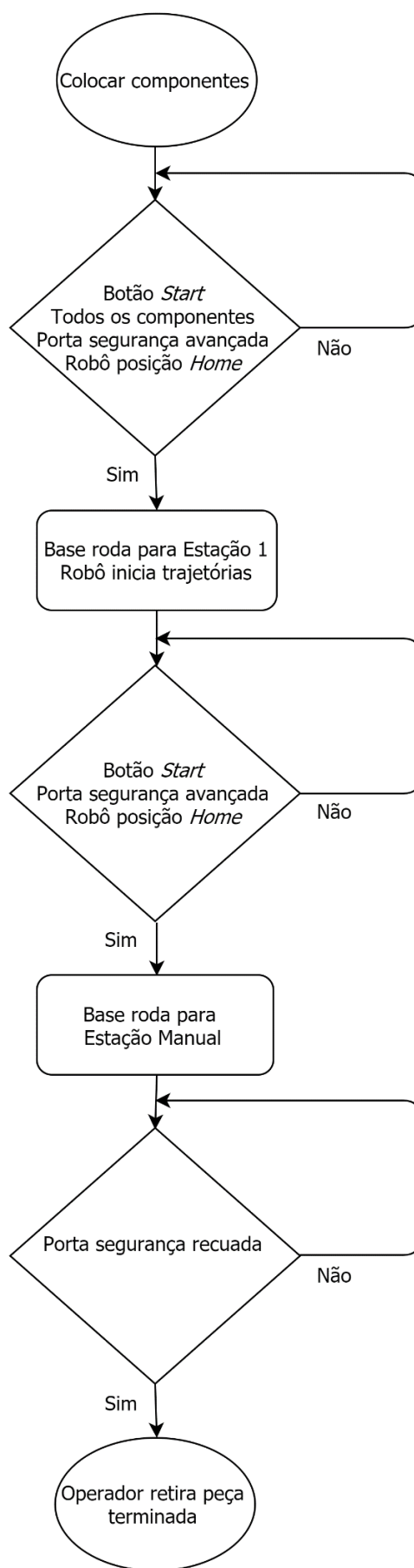


Figura 3.35 – Fluxograma do ciclo do funcionamento da célula com 1 robô.

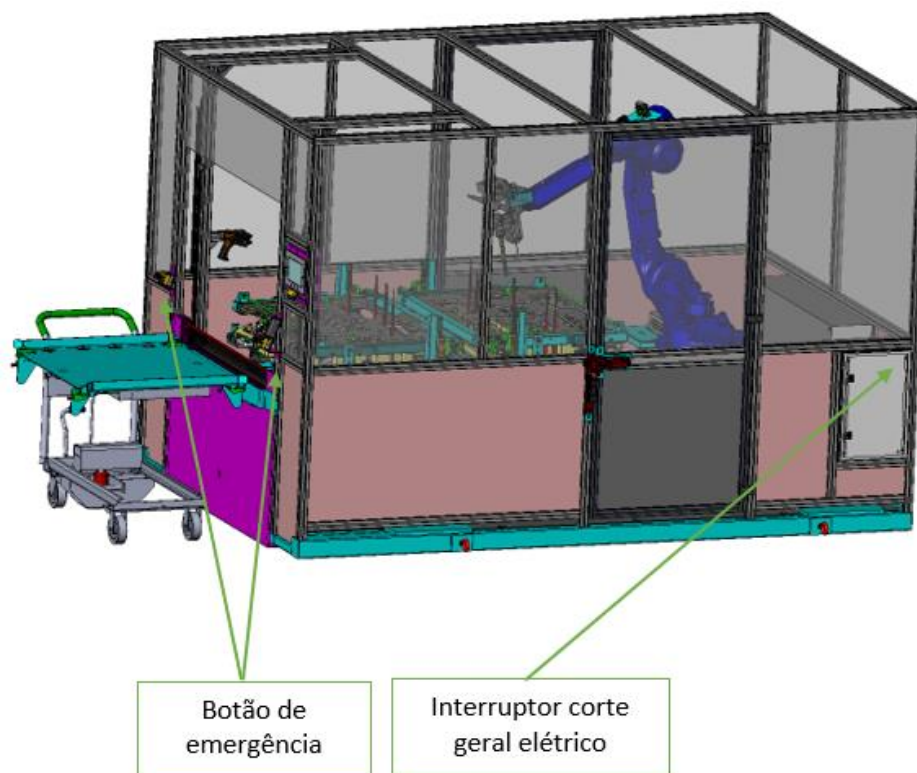


Figura 3.36 – Localização dos dispositivos de emergência [documentação interna].

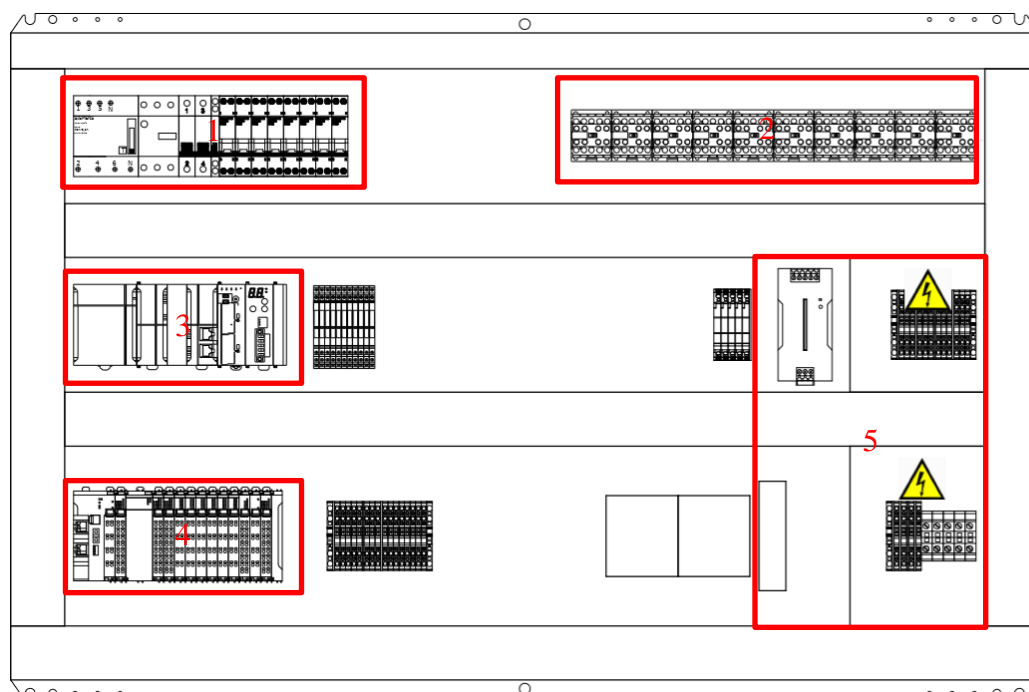


Figura 3.37 – Esquema da platina [documentação interna].

3.7 Sumário

Neste capítulo foram expostos os projetos em que existiu participação, referindo a perspetiva geral e o funcionamento genérico de cada dispositivo.

4 FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo são expostas as ferramentas de desenvolvimento utilizados durante o estágio.

Em cada subcapítulo é feita uma breve descrição do que foi desenvolvido em cada uma das ferramentas.

4.1 iX Developer

O iX Developer²⁰ é uma ferramenta de desenvolvimento utilizada para programar as HMI da Beijer Electronics. É uma ferramenta comercial, existindo uma versão *Trial* que permite testar as funcionalidades durante 30 dias.

Na Figura 4.1 estão identificadas as áreas principais.

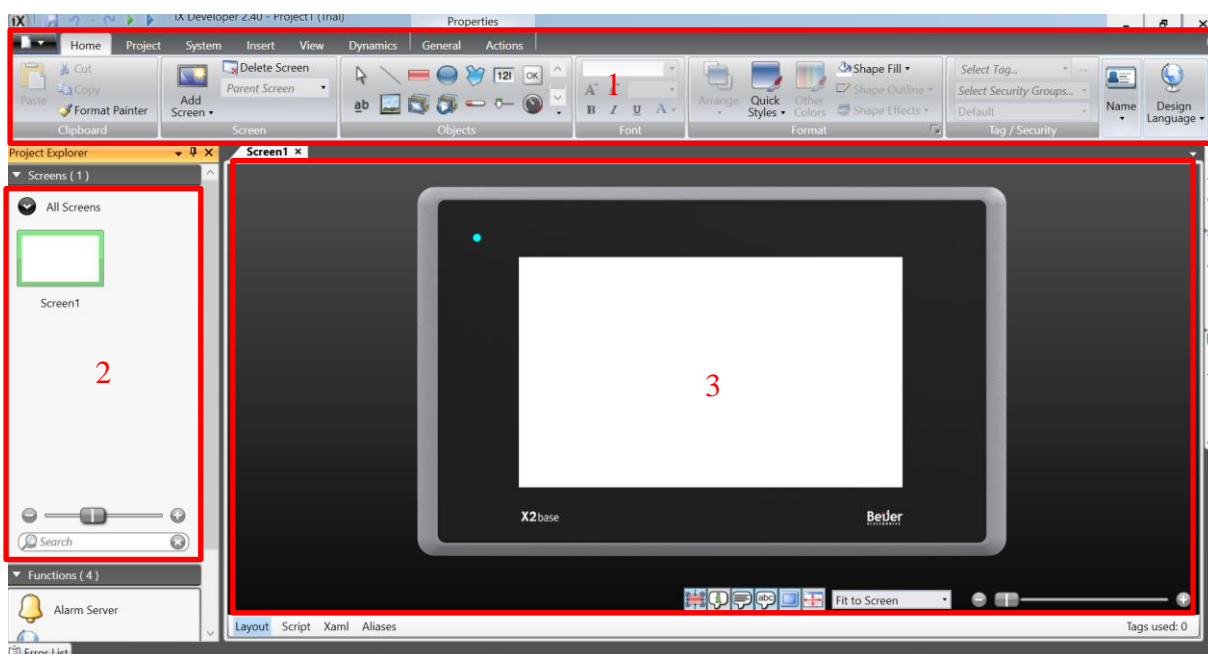


Figura 4.1 – Área de trabalho do iX Developer.

Na área 1 é apresentada a barra de menus do iX Developer, onde se encontram as ferramentas para o desenvolvimento dos ecrãs da HMI. O explorador do projeto, mostra a lista de ecrãs que foram criados e que compõem o projeto, encontrando-se na zona 2. A área de trabalho, onde é desenvolvido o ecrã que será apresentado na HMI, está identificada com o número 3.

Antes de ser iniciada a criação do projeto tem que se configurar a comunicação com o PLC, para tal, é necessário adicionar a marca e o IP do PLC que será utilizado, através do menu *Tags – Controllers* (ver Figura 4.2).

²⁰ <https://smartstore.beijerelectronics.com/>

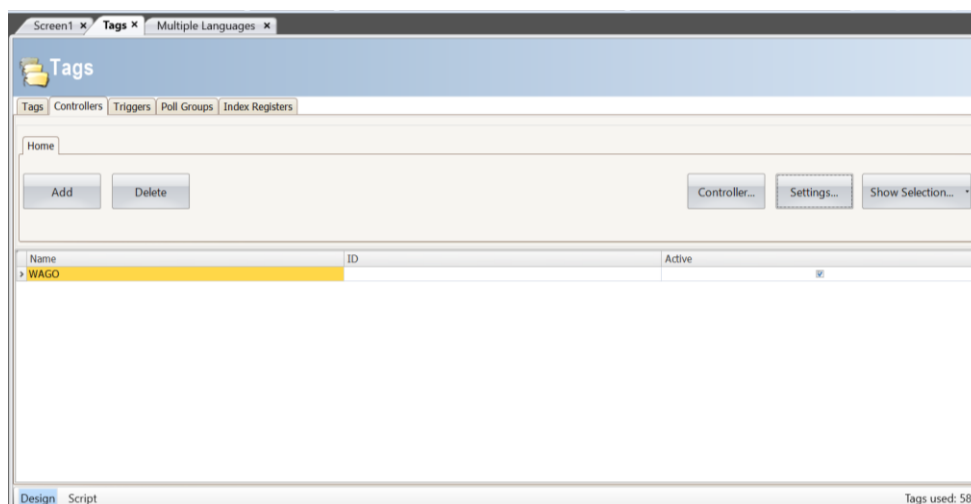


Figura 4.2 – Configuração do controlador.

Na Figura 4.3 está identificado o menu *Tag*, onde é possível inserir e configurar as variáveis que serão utilizadas.

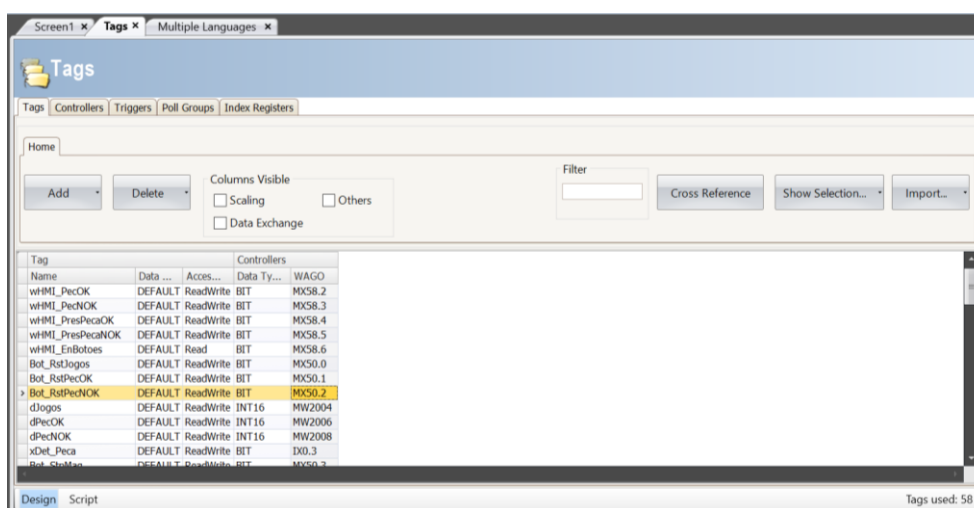


Figura 4.3 – Inserção das variáveis (*Tags*).

A Figura 4.4 apresenta o menu *Multiple Language*, que permite a inserção das mensagens a apresentar.

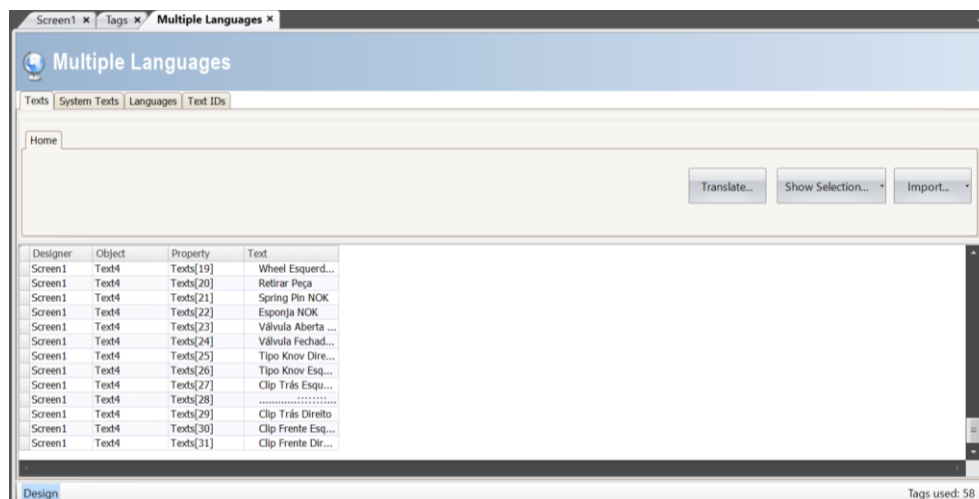


Figura 4.4 – Inserção das mensagens.

Na ferramenta iX Developer foi desenvolvida a HMI da máquina de montagem das grelhas para ventilação descrita no Capítulo 3.2.

A HMI apresenta no menu principal um sinal de STOP (indica que o ciclo já terminou), o tempo de ciclo da máquina, o total de grelhas montadas, a quantidade de grelhas conformes e não conformes.

Na barra superior apresenta o modelo da grelha que se está a montar e a barra inferior apresenta as mensagens para o operador.

No centro tem a representação do modelo da grelha que se está a montar e os seus componentes.

Um conjunto de sensores permite apresentar a informação necessária na HMI para o operador saber se colocou correctamente o *Jig* e se está a usar a combinação correcta de *Jig* e calçador.

Do lado direito da peça é apresentado o conjunto de componentes do ventilador, caso forem montados corretamente, aparece uma caixa verde com um ‘V’, em caso de a montagem ser mal executada aparece uma caixa vermelha com um ‘X’.

Na Figura 4.5 pode ser observado um *Print Screen* com a representação da composição da HMI que foi descrita.

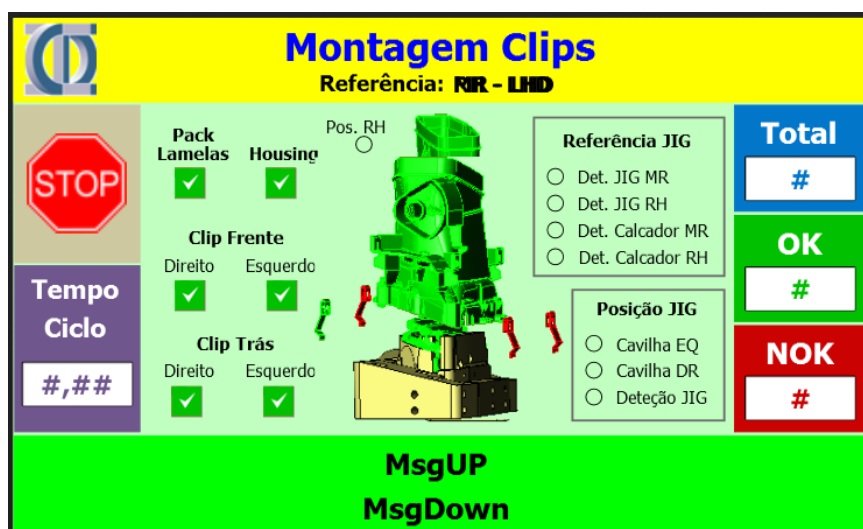


Figura 4.5 – Consola para a máquina de montagem das grelhas difusoras para ventilação.

No caso de os componentes não serem detetados aparecem a cinzento transparente (Figura 4.6.a) e quando são corretamente detetados ficam a cinzento opaco (Figura 4.6.b).

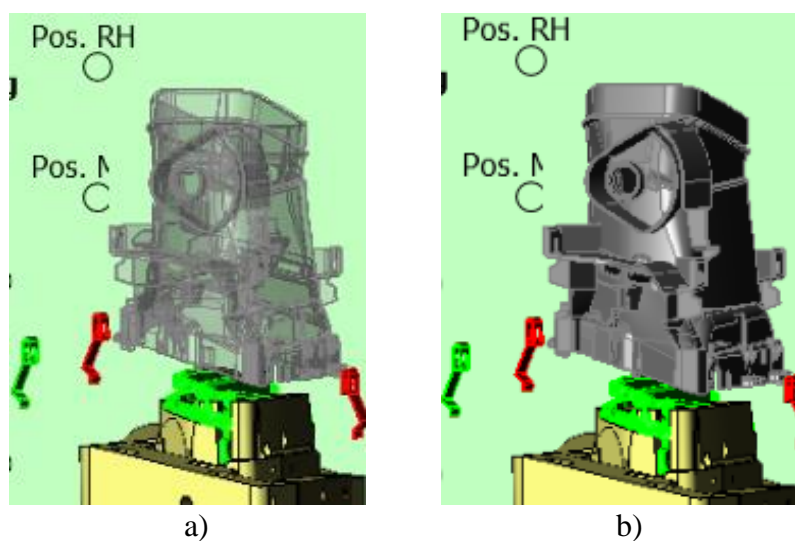


Figura 4.6 – a) Falha na deteção do *Housing* b) Deteção do *Housing*.

No fim do ciclo de montagem se os componentes forem mal montados aparecem a vermelho, ver Figura 4.7.a), e se forem montados com sucesso aparecem a verde, ver Figura 4.7.b).

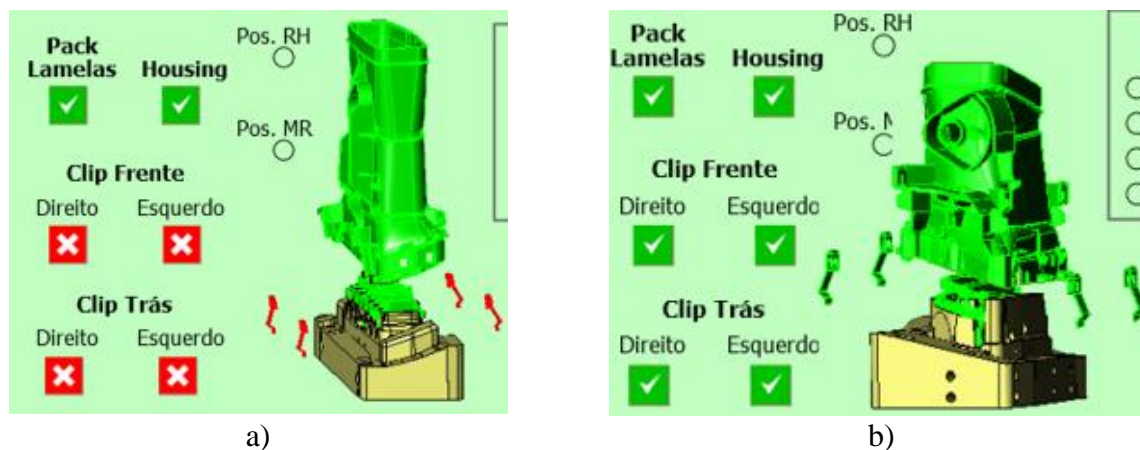


Figura 4.7 – a) Falha na montagem da peça b) Montagem da peça com sucesso.

4.2 TIA Portal

A ferramenta TIA Portal²¹ foi desenvolvida pela Siemens e serve para programar os autômatos da mesma. É uma ferramenta paga com possibilidade de compra de uma licença ou de utilização por tempo limitado (1 ano) no caso de compra de um equipamento.

O TIA Portal permite programar nas linguagens LAD (*Ladder*), FBD (*Function Block Diagram*), SCL (*Structured Control Language*), STL (*Statement list*) e SFC (*Sequential Function Chart*). No projeto desenvolvido com esta ferramenta foram usadas as linguagens LAD e FBD.

Ao criar um novo projeto define-se qual o CPU a ser usado como se pode ver na Figura 4.8.

Na Figura 4.9 é mostrada uma representação do *Hardware* com as cartas de entradas e saídas, estas têm que ser colocadas pela mesma ordem em que estão montadas fisicamente. É ainda necessário configurar o IP do PLC nas definições do CPU para o TIA Portal poder comunicar com o PLC.

²¹<https://w3.siemens.com/mcms/automation-software/en/tia-portal-software/step7-tia-portal/step7-professional/pages/default.aspx>

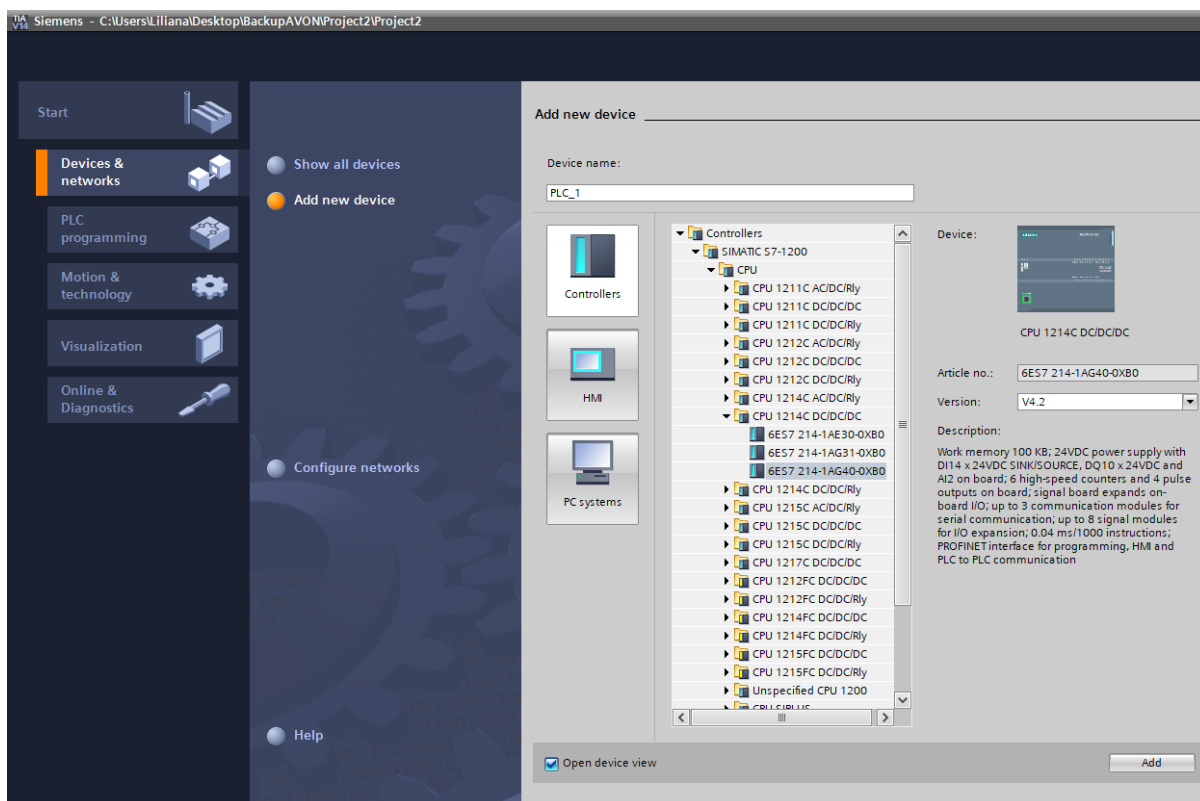


Figura 4.8 – Seleção do CPU.

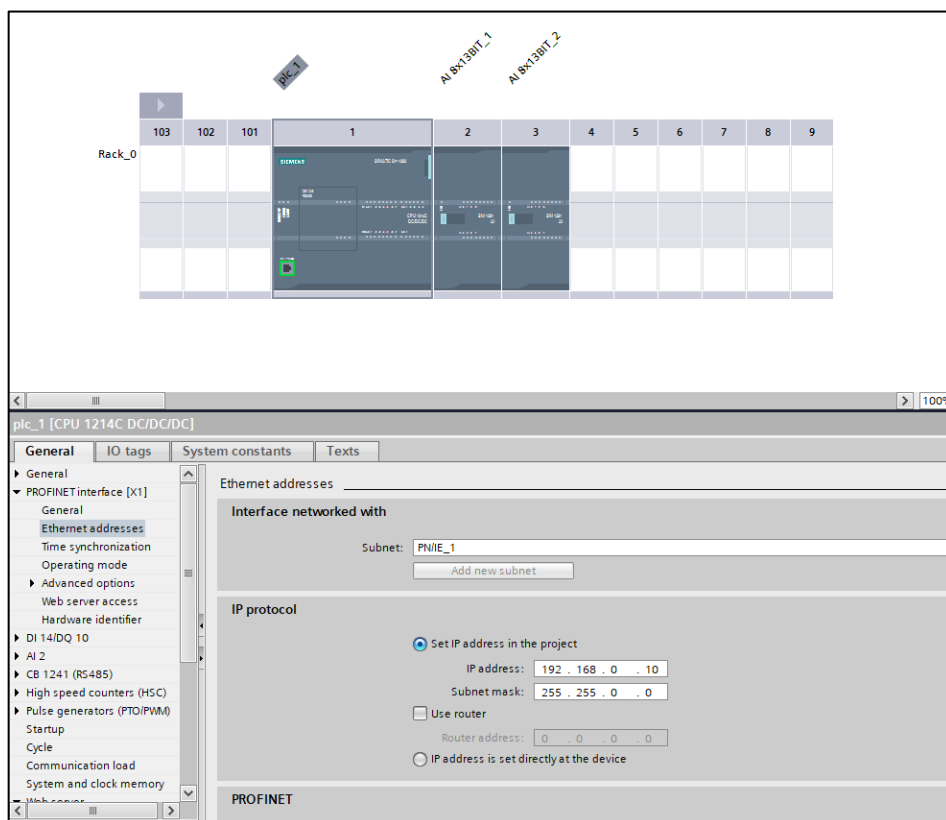


Figura 4.9 – Configuração do IP do PLC.

No separador *Tags* são inseridas as variáveis (Figura 4.10) que são usadas no desenvolvimento do programa.

PLC tags									
	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Co
1	Tag_1	Default tag table	Bool	%M10.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	System_Byte	Default tag table	Byte	%MB1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	FirstScan	Default tag table	Bool	%M1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	DiagStatusUpdate	Default tag table	Bool	%M1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	AlwaysTRUE	Default tag table	Bool	%M1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	AlwaysFALSE	Default tag table	Bool	%M1.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	Clock_Byte	Default tag table	Byte	%MB0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	Clock_10Hz	Default tag table	Bool	%M0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	Clock_5Hz	Default tag table	Bool	%M0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	Clock_2.5Hz	Default tag table	Bool	%M0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	Clock_2Hz	Default tag table	Bool	%M0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	Clock_1.25Hz	Default tag table	Bool	%M0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	Clock_1Hz	Default tag table	Bool	%M0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	Clock_0.625Hz	Default tag table	Bool	%M0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	Clock_0.5Hz	Default tag table	Bool	%M0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	Tag_4	Default tag table	Bool	%M10.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
17	Bot_Reset	Default tag table	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
18	Tag_7	Default tag table	Bool	%M28.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
19	Tag_66	Default tag table	Bool	%M11.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
20	Bot_Exit	Default tag table	Bool	%M29.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
21	Tag_60	Default tag table	Bool	%M10.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Figura 4.10 – Inserção das variáveis (*Tags*).

A Figura 4.11 mostra a área de trabalho onde são desenvolvidas as funções do programa para o equipamento.

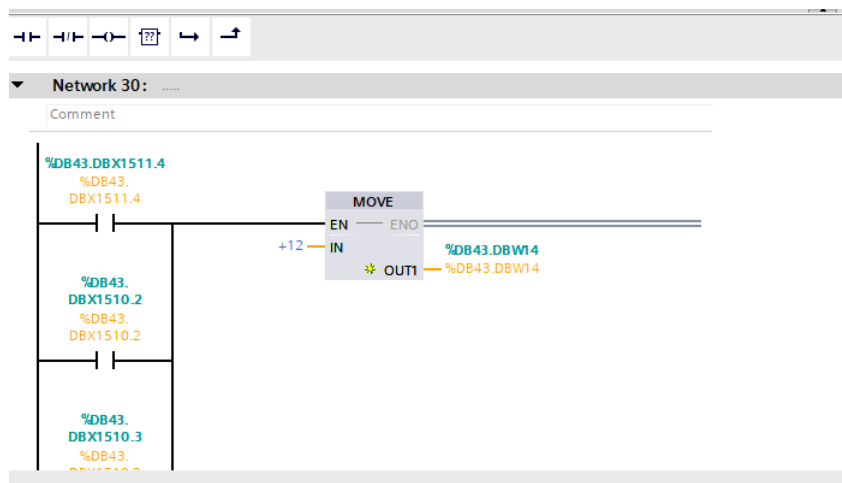


Figura 4.11 – Área de trabalho.

O TIA Portal foi utilizado para a programação do projeto de *Retrofitting* da máquina de verificação de conformidade dos tubos através de vácuo.

Neste projeto transcreveu-se o código desenvolvido em Step7-MicroWin utilizado no S7-200, para o TIA Portal para ser utilizado no S7-1200.

Visto que não existiu acesso ao código fonte do programa original, retirou-se o programa que estava a funcionar no S7-200 e recorreu-se a um conversor, mas sem sucesso, pois algumas das

funções não eram reconhecidas. Como tal procedeu-se à transcrição do código para o TIA Portal.

O programa original tinha proteções contra cópia e o que se obteve por leitura direta do PLC foram apenas as zonas de memória e entradas/ saídas.

Para possibilitar a gestão de memórias no TIA Portal habilitou-se o uso direto destas e criou-se um *DataBlock* com um *Array* de *Bytes* para reservar zona de memória.

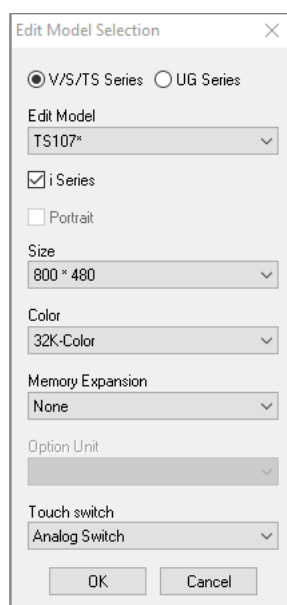
Como exemplo, adicionou-se um *Datablock* com o nome “auxiliar” e o TIA Portal criou a referência DB40. Dentro deste *Datablock* foi criado um *Array* de *bytes* (neste caso de 10000). Assim, para aceder ao *bit* 0 do endereço 100 deste *Array*, usa-se DB40.DBX100.0.

No caso de querer o acesso completo ao *byte* é utilizado o endereço DB40.DBB100; para acesso à *Word* é usado o endereço DB40.DBW100 e o para acesso à *Doubleword* o endereço DB40.DBD100.

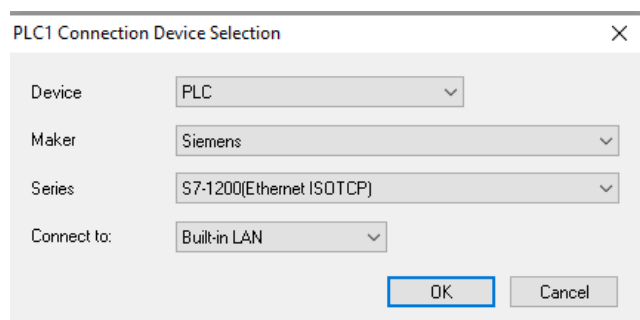
4.3 VSF-T 5

A ferramenta de desenvolvimento V-SFT 5²² é utilizada para programar alguns modelos de HMI da marca Monitouch. É uma ferramenta que é fornecida com a compra do equipamento.

Ao iniciar um novo projeto é necessário definir qual a HMI que se vai usar (Figura 4.12.a) e o PLC com o qual vai haver comunicação (Figura 4.12.b).



a)



b)

Figura 4.12 – a) Inserção do modelo da HMI b) Inserção do modelo do PLC.

²² <https://monitouch.fujielectric.com/site/support-e/download-index-01.html>

A comunicação entre os equipamentos é possível depois colocado o IP do PLC, tal como está representado na Figura 4.13.

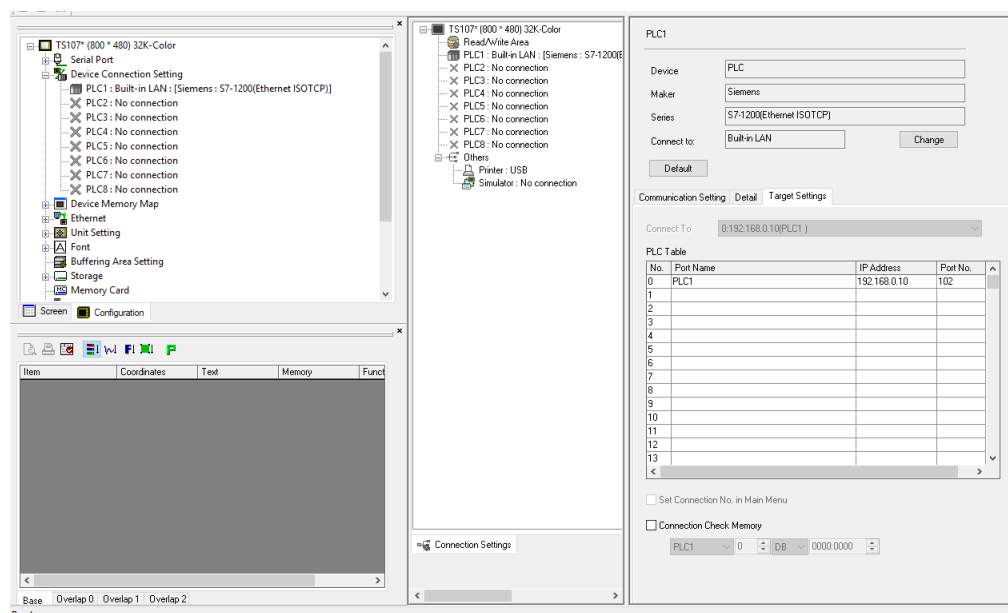


Figura 4.13 – Configuração da comunicação com o PLC.

É ainda necessário configurar a comunicação entre o PLC e a HMI através da definição do IP da HMI, tal como se pode ver na Figura 4.14.

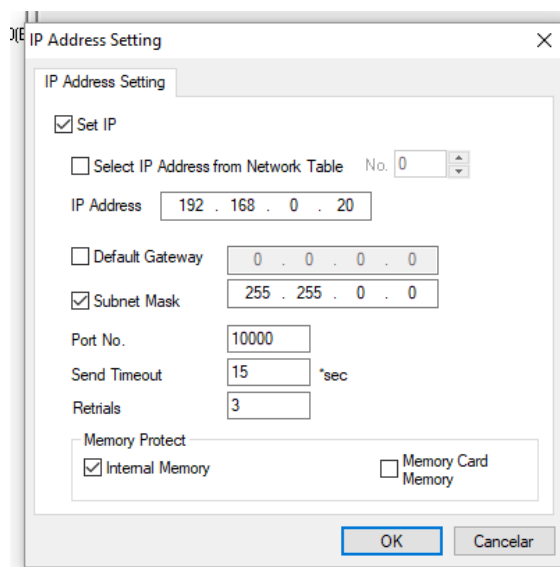


Figura 4.14 – Configuração do IP da HMI.

Na Figura 4.15 estão identificadas as áreas de barra de menus, do explorador do projeto, da lista de objetos criados no projeto, a área de trabalho onde é desenvolvida a HMI e o menu dos objetos.

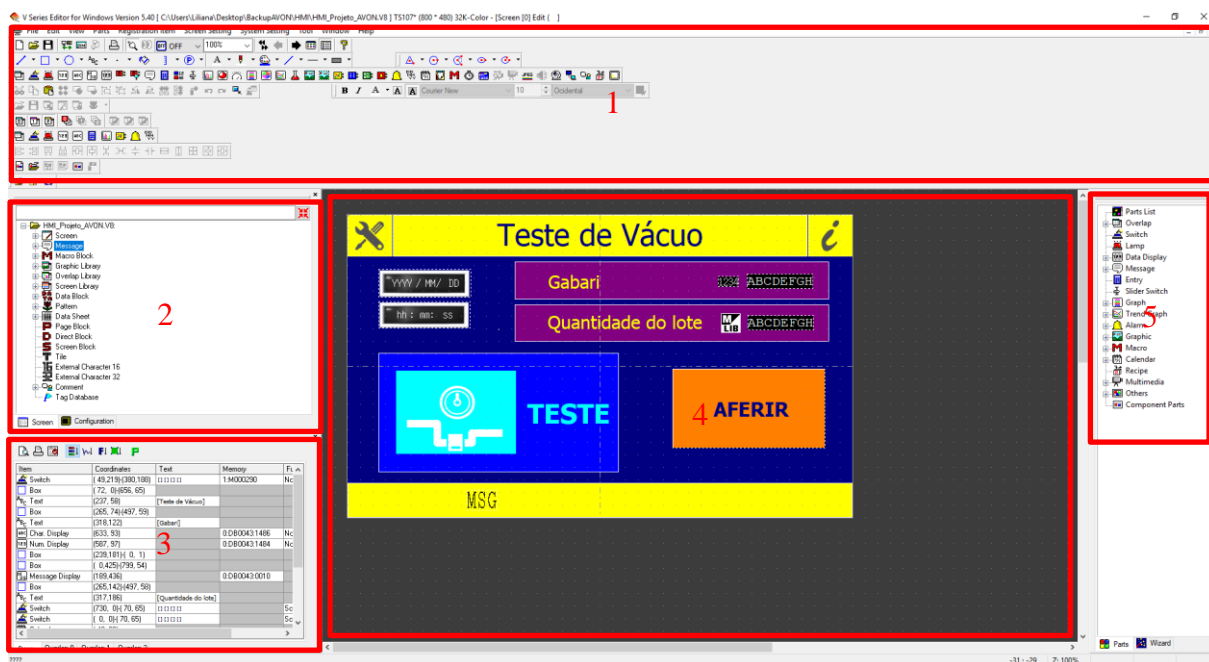


Figura 4.15 – Área de trabalho.

Na área 1, barra de menus do V-SFT 5, encontram-se as ferramentas para o desenvolvimento dos ecrãs.

O explorador do projeto, onde está a lista de ecrãs que são criados e que compõem o projeto, está identificado com o número 2.

As tabelas com as características dos objetos criados no projeto estão definidas na área 3.

Na área 4 é mostrada a área de trabalho onde é desenvolvido o ecrã que será apresentado na HMI.

O menu de objetos que a ferramenta já disponibiliza encontra-se na área 5.

A Figura 4.16 representa as mensagens a mostrar na HMI ao operador, estas são endereçadas no programa através da numeração de linha (apresentada do lado esquerdo da imagem).

```

Message [0] [HMI_Projeto_AVON.V8] - Edit
File Edit Display
00000 Msg MAQUINA TESTE DE VACUO
00001 CHAME ECRA TESTES PARA ENSAIAR LOTE
00002 *ESPERE* A CARREGAR GABARI
00003 ** FALTA ** AFERIR MAQUINA
00004 CONT. PROGRAMADA ATINGIDA
00005
00006
00007
00008
00009
00010 BOTAO START PARA INICIAR
00011 ** ESPERE ** TESTE A DECORRER
00012 ** ESPERE ** PASSO DE TESTE "OK"
00013 *FALHA* NO PASSO DE TESTE (RESET)
00014 COLOQUE TAMPA E PRESS BOTAO START
00015 TESTE CONCLUIDO COM SUCESSO (RESET)
00016 FALTA COMPONENTE (BOTAO START)
00017
00018
00019

```

Figura 4.16 – Menu Messages.

Esta ferramenta foi utilizada para desenvolver a nova HMI a ser incluída no projeto de *Retrofitting* da máquina de verificação de conformidade dos tubos por vácuo. A HMI antiga serviu de base para permitir a rápida adaptação e entendimento por parte do operador do novo modelo.

No menu inicial (Figura 4.17.a) é apresentada a informação do gabari, quantidade do lote, data, hora e mensagens para o operador. Em termos de botões estão disponíveis quatro, o botão de ‘Configuração’ no canto superior esquerdo, o botão ‘informação’ no canto superior direito, o botão ‘teste’, utilizado caso se queira verificar o funcionamento do gabari e o botão ‘aferir’ que ativa a verificação do funcionamento das válvulas.

No ecrã de Configuração (Figura 4.17.b) é apresentado um botão ‘Ler Gabari’ para mostrar qual referência em uso. Este ecrã tem também um botão ‘Aferir Máquina’ que verifica se os pressostatos estão a realizar as leituras corretamente e o botão Parâmetros dos Testes que direciona para um novo ecrã.

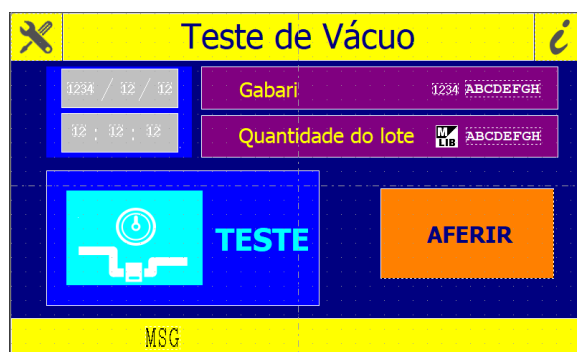
No ecrã Parâmetros dos testes (Figura 4.17.c) é possível configurar os valores dos parâmetros do equipamento que permitem definir se a peça está conforme. Neste ecrã existe também um botão que define a obrigação de realizar a aferição cada vez que se liga a máquina e um botão que ativa a impressora para imprimir um relatório no fim de cada lote.

Quando se está a realizar os testes de validação a um lote de tubos o ecrã apresentado é o que se encontra na Figura 4.17.d. Neste ecrã está representada a referência da peça que está a ser testada e são mostrados os valores das leituras dos pressostatos envolvidos.

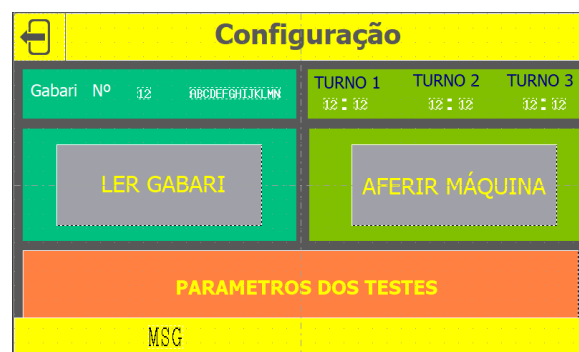
A pré-visualização do relatório que é impresso quando é terminado o lote pode ser visualizada no ecrã da Figura 4.17.e.

O ecrã representado na Figura 4.17.f contém a informação sobre o fabricante do equipamento.

Os 23 ecrãs dos gabaris seguem todos o esquema da Figura 4.17.d, alterando apenas a representação do tubo, visto existirem vários modelos.



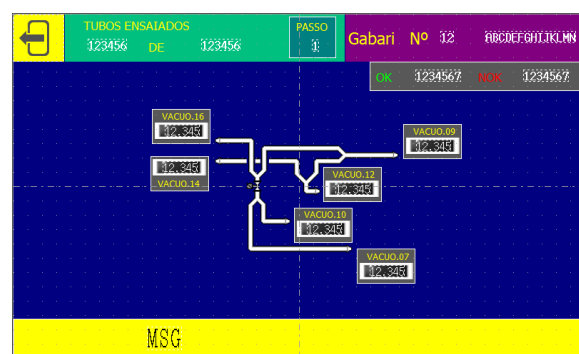
a)



b)



c)



d)



e)



f)

Figura 4.17 – Ecrãs principais da HMI.

4.4 Sumário

Neste capítulo encontra-se uma breve descrição acerca das ferramentas de desenvolvimentos usados nos projetos, onde são referidos os principais aspetos. Os subcapítulos descrevem de uma forma global as ferramentas utilizadas e o trabalho desenvolvido nestas.

5 CONCLUSÕES

O presente relatório de estágio tem como objetivo descrever o trabalho realizado durante o período de estágio na empresa Tojaltec. Foram apresentados os projetos onde houve participação, explicitando as diversas etapas do seu desenvolvimento.

As máquinas de montagem das grelhas difusoras para ventilação dos automóveis foram aprovadas pelo cliente, não sendo necessário fazer alterações depois da avaliação da máquina. E as máquinas de verificação da conformidade das mesmas foram expedidas para o cliente após terem sido avaliadas e aprovadas pelo mesmo, não tendo sido pedidas alterações depois desta avaliação. Ambas, encontram-se em funcionamento até à data de escrita deste relatório, sem ter havido qualquer tipo de intervenção.

Devido a alterações no projeto da máquina de verificação da conformidade dos tubos por vácuo, o projeto não foi concluído. No entanto, foram finalizadas as tarefas que incluíam o levantamento de *Inputs/Outputs* do autómato, descrição do seu funcionamento e atualização do programa do autómato original. Ficou por terminar o bloqueio dos ecrãs da HMI através de *Passwords* e a realização dos testes funcionais.

No que respeita às células de soldadura houve uma validação inicial por parte do cliente, tendo sido aprovada a expedição. A validação final foi realizada nas instalações do cliente, sendo necessário reajustar os pontos de soldadura, devido a deformações das peças por estas chegarem à máquina ainda quentes.

A execução dos projetos foi possível devido à aplicação de conhecimentos adquiridos ao longo do percurso académico e da aquisição de novos conhecimentos na Tojaltec. Nestes últimos destacam-se a programação de trajetórias de robôs tendo em conta as zonas de segurança e contato com equipamentos diferentes dos lecionados e a sua utilização a nível industrial.

Esta experiência permitiu ainda o desenvolvimento das capacidades de trabalho em equipa, através da interação com os colegas de trabalho das diversas áreas presentes na empresa e criou uma nova perspetiva na abordagem com os clientes, atendendo aos objetivos a atingir de modo a alcançar os resultados pretendidos.

A realização deste estágio permitiu o contato direto com o mundo da indústria e a integração no mercado de trabalho, permitindo adquirir experiência profissional nas áreas da automação industrial.

5.1 Sugestões de melhoria

Um dos problemas detetados durante o decorrer do estágio, foi a existência de falhas na comunicação entre o PLC e vários equipamentos, devido aos cabos de rede estarem demasiadamente próximos dos cabos de potência provenientes da rede elétrica, o que provocou falhas de comunicação. Para identificar a origem da falha, os cabos de rede foram testados com um *Network Cable Tester*, concluindo-se que não existia falha nos mesmos. Verificou-se que usando um cabo externo que não passasse nas calhas do quadro, todas as comunicações eram devidamente executadas. Desta forma, optou-se por substituir todos os cabos de rede por uns com blindagem, tendo solucionado o problema. Uma sugestão de melhoria neste caso, passará pelo redimensionamento e reestruturação da arquitetura interna do quadro elétrico de forma a evitar que os cabos de comunicação passem junto aos cabos de potência.

Outro problema identificado, ocorreu no planeamento de trajetórias a executar nas células com múltiplos robôs. Este processo foi realizado por tentativa e erro, testando-se diretamente na máquina se o tempo do ciclo estaria ou não conforme o exigido pelo cliente. Uma forma de otimizar este procedimento passa pela utilização de um simulador de trajetórias, em vez de serem feitos os testes diretamente na máquina. Dado que maioria dos robôs usados na empresa são da Motoman, poder-se-á recorrer ao software de simulação MotoSim EG que permite fazer a programação *Offline*, criar um modelo 3D da área de trabalho e fazer a análise do tempo do ciclo.

6 BIBLIOGRAFIA

- [1] “Curso de Controladores Lógicos Programáveis”. [online]. Disponível em: <http://www.lee.eng.uerj.br/downloads/cursos/clp/clp.pdf> [acedido em 18 novembro 2017].
- [2] C. Franchi. "Controladores Lógicos Programáveis", São Paulo, Érica Ed, 2009.
- [3] Copadata, “Interface homem-máquina (HMI)”, *Copadata*. [online]. Disponível em: <https://www.copadata.com/pt/solucoes-hmi-scada/interface-homem-maquina-hmi/> [acedido em 06 outubro 2017].
- [4] Wikipedia, “Robô industrial”, *Wikipedia*. [online]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Rob%C3%B4_industrial [acedido em 26 abril 2018].
- [5] Roboterin, “O que é um robô colaborativo?”, *Roboterin*. [online]. Disponível em: <http://roboterin.com.br/o-que-e-um-robo-colaborativo/> [acedido em 20 setembro 2018].
- [6] D. J. Woo, “History of Ultrassound”. [online]. Disponível em: <http://www.ob-ultrasound.net/history1.html> [acedido em 10 setembro 2017].
- [7] J. Tsung, “History of Ultrasound and Technological Advances”. [online]. Disponível em: <http://www.wcume.org/wp-content/uploads/2011/05/Tsung.pdf> [acedido em 11 setembro 2017].
- [8] C. J. Nonhof and G. A. Luiten, “Estimates for process conditions during the ultrasonic welding of thermoplastics”, *Polymer engineering and science*, vol. 36, nº 9, maio 1996.
- [9] Infosolda, “Soldagem por ultra-som”, *Infosolda*. [online]. Disponível em: <http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/processos/197-soldagem-por-ultra-som.html> [acedido em 10 junho 2018].
- [10] CQI. “Desenvolvimento e Concepção de Gabaritos”, *CQI*. [online]. Disponível em: <http://www.cqi.pt/#!/servicos/gigs/> [acedido em 06 abril 2019].
- [11] R. V. Branco, “Projeto e Implementação de uma Célula de Soldadura Robotizada – Estágio na Motofil Robotics S.A.”, Relatório de Estágio de Mestrado, ISEC, 2017.

- [12] C. A. Industrial, “Sensor Magnético: Como Funciona”, *C. A. Industrial*. [online]. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/sensor-magnetico/> [acedido em 13 junho 2018].
- [13] Schmersal, “Relé de Segurança”, *Schmersal*. [online]. Disponível em: <http://www.schmersal.com.br/produtos/seguranca/produto/action/detail/product/rele-de-seguranca-srb/> [acedido em 14 outubro 2017].

Anexo I – Tabela *Input's/Output's**INPUT DIGITAL*

I0.0	Botão <i>Start</i>
I0.1	Botão <i>Reset</i>
I1.0	Ficha Pino B
I1.1	Ficha Pino C
I1.2	Ficha Pino D
I1.3	Ficha Pino E
I1.4	Ficha Pino F
I1.5	Ficha Pino G

INPUT ANALÓGICO

AI1	Leitura Pressostato 1
AI2	Leitura Pressostato 2
AI3	Leitura Pressostato 3
AI4	Leitura Pressostato 4
AI5	Leitura Pressostato 5
AI6	Leitura Pressostato 6
AI7	Leitura Pressostato 7
AI8	Leitura Pressostato 8
AI9	Leitura Pressostato 9
AI10	Leitura Pressostato 10
AI11	Leitura Pressostato 11
AI12	Leitura Pressostato 12
AI13	Leitura Pressostato 13
AI14	Leitura Pressostato 14
AI15	Leitura Pressostato 15
AI16	Leitura Pressostato 16

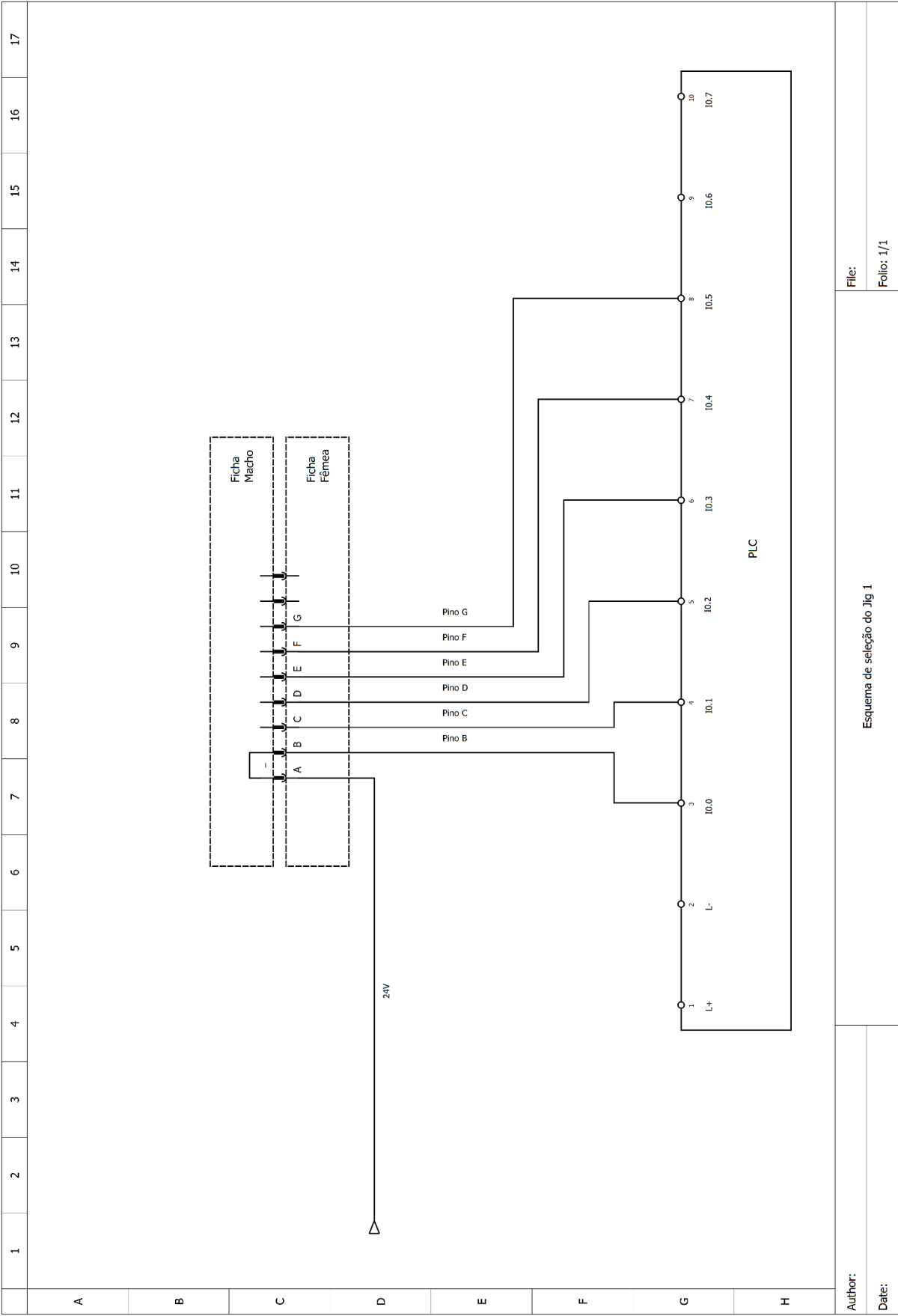
OUTPUT

Q0.0	Eletroválvula 1
Q0.1	Eletroválvula 2
Q0.2	Eletroválvula 3
Q0.3	Eletroválvula 4
Q0.4	Eletroválvula 5
Q0.5	Eletroválvula 6
Q0.6	Eletroválvula 7
Q0.7	Eletroválvula 8
Q1.0	LED Detecção Anomalia
Q1.1	Besouro

Outros sinais

Ficha Pino A	24V
--------------	-----

Anexo II – Esquema para seleção do Jig1



Anexo III – Código Robô 1

```
/JOB
//NAME V01_LFFR_P1
//POS
///NPOS 26,0,0,0,0,0
///TOOL 2
///POSTYPE PULSE
///PULSE
C00000=-73599,-37676,-63308,68636,136637,62232
C00001=-73774,-28522,-73819,62835,140300,69366
C00002=-73670,-34667,-67926,66200,137939,65111
C00003=-67698,-35476,-68381,66464,137991,64205
C00004=-67791,-29773,-73977,63285,140167,68217
C00005=-61232,-57871,-78079,64818,129879,62739
C00006=-60877,-54409,-84736,60436,131913,67364
C00007=-49768,-64196,-80281,62500,124051,62647
C00008=-49975,-59792,-86891,57140,126894,67258
C00009=-41627,-79456,-84607,60670,113221,62278
C00010=-41931,-76782,-91727,53430,116192,67439
C00011=-51662,-2898,-48442,38664,119966,77235
C00012=-53245,2865,-51432,36622,124232,77797
C00013=-51587,2118,-57473,19889,120485,84282
C00014=-49685,-7165,-50577,22701,111540,83345
C00015=-45692,-6798,-51113,45240,122330,73060
C00016=-45747,-2402,-55130,41800,125646,75917
C00017=-47785,663,-58566,46160,131767,75735
C00018=-47857,-7628,-51702,51767,126604,70374
C00019=-56851,-623,-45842,68257,140194,64743
C00020=-56948,8222,-52868,64313,142957,70227
C00021=-55022,-8765,-58807,56145,134169,71421
C00022=-55310,-11515,-54303,58905,132334,68070
C00023=-48085,-24331,-62386,55940,128213,69002
C00024=-48360,-20596,-66610,52956,130711,71882
C00025=-48033,-27459,-57986,59323,126160,65998
//INST
///DATE 2017/02/22 11:37
///COMM SubProg - V01 Left Front P1
```

```
///ATTR SC,RW
///GROUP1 RB1
NOP
*****
'*      SUBPROGRAM BEGINNING      *
'*      VERSION 01                *
'*      PANEL - LEFT FRONT        *
'*      TURN TABLE POSITION 1     *
*****
'
*Begin
'-----
'retract Usonic transp. cylinder
CALL JOB:RTUSONICTP ARGF1
'-----
'point 33 & 34
MOVJ C00000 T0330 VJ=D014 PL=2 //approach to welding point
MOVL C00001 T0335 V=D010 PL=0 //welding point
'welding
CALL JOB:WELDDOUBLE ARGF33 ARGF34
MOVL C00002 T0339 V=D010 PL=2 //leaving welding point
'-----
'point 35 & 36
MOVJ C00003 T0350 VJ=D014 PL=2 //approach to welding point
MOVL C00004 T0355 V=D010 PL=0 //welding point
'set zone 1 clear
DOUT OT#(145) ON
'welding
CALL JOB:WELDDOUBLE ARGF35 ARGF36
MOVL C00003 T0350 V=D010 PL=2 //leaving welding point
'-----
'point 37 & 38
MOVJ C00005 T0370 VJ=D014 PL=2 //approach to welding point
MOVL C00006 T0375 V=D010 PL=0 //welding point
'set zone 2 clear
DOUT OT#(146) ON
'welding
CALL JOB:WELDDOUBLE ARGF37 ARGF38
```

[ANEXOS]

```
MOVL C00005 T0370 V=D010 PL=2  //leaving welding point
'-----
'point 39 & 40
MOVJ C00007 T0390 VJ=D014 PL=2  //approach to welding point
MOVL C00008 T0395 V=D010 PL=0  //welding point
'welding
CALL JOB:WELDDOUBLE ARGF39 ARGF40
MOVL C00007 T0390 V=D010 PL=2  //leaving welding point
'-----
'point 41 & 42
MOVJ C00009 T0410 VJ=D014 PL=2  //approach to welding point
MOVL C00010 T0415 V=D010 PL=0  //welding point
'welding
CALL JOB:WELDDOUBLE ARGF41 ARGF42
MOVL C00009 T0410 V=D010 PL=2  //leaving welding point
'-----
'wait zone 3 clear
WAIT IN#(147)=ON
'-----
'point 43 & 44
MOVJ C00011 T0430 VJ=D014 PL=2  //approach to welding point
MOVL C00012 T0435 V=D010 PL=0  //welding point
'welding
CALL JOB:WELDDOUBLE ARGF43 ARGF44
'-----
'point 45 & 46
MOVL C00013 T0455 V=D010 PL=0  //welding point
'welding
CALL JOB:WELDDOUBLE ARGF45 ARGF46
MOVL C00014 T0459 V=D010 PL=2  //leaving welding point
'-----
'point 47 & 48
MOVJ C00015 T0470 VJ=D014 PL=2  //approach to welding point
MOVL C00016 T0475 V=D010 PL=0  //welding point
'set zone 4 clear
DOUT OT#(148) ON
'welding
CALL JOB:WELDDOUBLE ARGF47 ARGF48
```

```
'-----  
'point 49 & 50  
MOVL C00017 T0495 V=D010 PL=0 //welding point  
'welding  
CALL JOB:WELDDOUBLE ARGF49 ARGF50  
MOVL C00018 T0499 V=D010 PL=2 //leaving welding point  
'-----  
'point 51 & 52  
MOVJ C00019 T0510 VJ=D014 PL=2 //approach to welding point  
MOVL C00020 T0515 V=D010 PL=0 //welding point  
'welding  
CALL JOB:WELDDOUBLE ARGF51 ARGF52  
MOVL C00019 T0510 V=D010 PL=2 //leaving welding point  
'-----  
'point 53 & 54  
MOVL C00021 T0535 V=D010 PL=0 //welding point  
'welding  
CALL JOB:WELDDOUBLE ARGF53 ARGF54  
MOVL C00022 T0539 V=D010 PL=2 //leaving welding point  
'-----  
'point 55 & 56  
MOVJ C00023 T0550 VJ=D014 PL=2 //approach to welding point  
MOVL C00024 T0555 V=D010 PL=0 //welding point  
'welding  
CALL JOB:WELDDOUBLE ARGF55 ARGF56  
MOVL C00025 T0559 V=D010 PL=2 //leaving welding point  
'-----  
*End  
'##  
END
```